

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Stanovení celkového zatížení podlahy ze statických i dynamických sil u průmyslových pracích strojů.

Floor Total Load Assessment from Static and Dynamic Forces for Industrial Washing-machines.

Student:

Bc. Pavla Hajdová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdenek Foltá, Ph.D

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavla Hajdová**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**
Téma: **Stanovení celkového zatížení podlahy ze statických i dynamických sil u průmyslových pracích strojů**
Floor Total Load Assessment from Static and Dynamic Forces for Industrial Washing-machines

Zásady pro vypracování:

cílem diplomové práce je vypracování metodiky určení maximální síly, která může působit při provozu pracích stroje do podlahy. Práce je zpracovávána ve spolupráci se zadavatelem - firmou Primus CE, s.r.o., Příbor.

1. Proveďte referenci problematiky stanovení statických veličin náhodné veličiny.
2. Navrhněte vhodnou metodiku stanovení pravděpodobné maximální hodnoty zatížení podlahy a provozu pracích stroje.
3. Na základě experimentálních dat proveďte statistický rozbor a určete pravděpodobný výskyt maxima pro různé typy pracích strojů a pro různé pravděpodobnosti rozložení náhodné veličiny.
4. Seznamte doporučenou metodiku měření a výpočtu pro určení pravděpodobného maxima síly do podlahy pracích strojů.

Seznam doporučení odborné literatury:

Mádr Vilém a kol.: *Pyritální měření*, SNTL, Praha 1991.
Bálsen Josef, Radouch Vladimír: *Vyrovnávací počet*, Kartografie Praha, 1978.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Fuksa, Ph.D.**

Datum zadání: **13.12.2014**

Datum odevzdání: **18.05.2015**




prof. Dr. Ing. Miloslav Němčík
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Pavla Hajdová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Zděchov 207, okres Vsetín, 756 07

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Foltovi, Ph.D. za velmi užitečnou a odbornou pomoc, kterou mi poskytl při zpracování mé diplomové práce. Mé poděkování patří též Mgr. Pavlu Skalnému za spolupráci a trpělivost při získávání údajů pro výzkumnou část práce.

Anotace diplomové práce

HAJDOVÁ, P. *Stanovení celkového zatížení podlahy ze statických i dynamických sil u průmyslových pracích strojů: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2015, 63 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá tématem stanovení celkového zatížení podlahy ze statických i dynamických sil u průmyslových pracích strojů. Rešerše je zaměřena na problematiku sil do podlahy na základě již provedených experimentů a vyhodnocení stochastických údajů na základě pravděpodobnostní teorie. V další části se zabývám návrhem vhodné metodiky měření. Dále se věnuji návrhu snímače, který je určen pro měření sil do podlahy v grafických programech a jeho vyhodnocení pomocí metody MKP (metoda konečných prvků). Závěr diplomové práce se věnuje vyhodnocení poměrného prodloužení dvou typů snímačů.

Annotation of Bachelor's Thesis

HAJDOVÁ, P. *Floor Total Load Assessment from Static and Dynamic Forces for Industrial Washing-machines: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machine parts and mechanisms, 2015, 63 s. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

This thesis deals with the determination of total floor load of static and dynamic forces in industrial washing machines. Search is focused on the forces into the floor on the basis of already performed experiments and evaluation data on the basis of the stochastic probability theory. The next section deals with the design of appropriate measurement methodology. Furthermore, the proposal deals with the sensor, which is designed to measure forces in the floor graphics programs and its evaluation method using FEM (Finite Element Method). The final section is devoted to evaluating the elongation of two types of sensors.

Seznam použitých symbolů a zkratk

$D(x), s^2, \sigma^2(x)$	rozptyl
e	Eulerova konstanta
$E(x)$	střední hodnota
$f(x), F(X)$	funkce x
L	funkce věrohodnosti
\lim	limita funkce
$\ln(x)$	logaritmus x
m, \tilde{x}	medián
m_k	výběrový moment
$\text{Mod}(x), \hat{x}$	modus
n, k	počet neznámých
p	reálná četnost
P	pravděpodobnost
$P(X_i)$	pravděpodobnost diskrétního jevu
s	výběrový směrodatná odchylka
x, X	náhodná veličina
X_1	první veličina
X_n	neznámá veličina počtu n hodnot
\bar{x}, μ	aritmetický průměr
\bar{X}	výběrový průměr
σ	směrodatná odchylka
Ω	prostor pravděpodobnosti
π	Ludolfovo číslo
\in	náleží
μ	střední hodnota
Γ	rozšířená funkce faktoriál
$\Theta(\lambda, \beta, \alpha, \mu)$	obecné parametry různých rozdělení

Obsah

1. Úvod	10
2. Rešerše	11
2.1. Problematika měření sil do podlahy	11
2.2. Základní poznatky teorie pravděpodobnosti a statistiky	11
2.3. Teorie pravděpodobnosti	11
2.4. Základní pojmy teorie pravděpodobnosti	12
2.5. Popisná statistika	13
3. Statistika	16
4. Základní spojitá rozdělení	17
4.1. Normální rozdělení	18
4.2. Logaritmicko-normální rozdělení	19
4.3. Weibullovo rozdělení	20
4.4. Gamma rozdělení	21
4.5. Gumbelovo rozdělení	22
5. Teorie odhadu	23
5.1. Náhodný výběr	23
5.2. Bodový odhad	24
5.2.1. Momentová metoda	24
5.2.2. Metoda maximální věrohodnosti	25
5.3. Vlastnosti odhadu	26
6. Teorie spolehlivosti	28
6.1. Testy rozdělení	28
6.1.1. Test dobré shody	28
7. Měření statických a dynamických sil u průmyslových pracích strojů	29
8. Metodika	31
8.1. Naměřené hodnoty	33
8.2. Určení typu rozdělení pravděpodobnosti	35
8.3. Stanovení min počtu naměřených dat	38
8.4. Výpočet maxima a jeho pravděpodobnost	40

8.4.1. Stroj A	40
8.4.2. Stroj B	41
8.4.3. Stroj C	42
8.5. Měření statické složky	43
9. Analýza v MKP.....	44
11. Seznam použité literatury	61
Použité publikace:	61
Použité internetové odkazy:.....	61
Použité grafické programy:	63
Seznam příloh:	63

1. Úvod

Při činnosti průmyslových pracích strojů, stejně jako u domácích automatických praček, dochází při odstředování k nerovnoměrnému rozložení prádla v bubnu pracího stroje. Tím vzniká tzv. nevývažek, který způsobuje odstředivou sílu a tím cyklické dynamické zatěžování jak vlastního stroje, tak se tato síla přenáší do podlahy prádelny.

Při měření, které v minulosti prováděla katedra částí a mechanismů strojů pro firmu Primus CE, s.r.o. (nyní Alliance Laundry CE, s.r.o.) bylo zjištěno, že se velikost tohoto nevývažku významně mění pro každý prací cyklus podle toho, jak se v tomto cyklu rozloží prádlo. Pro potřeby projektantů, kteří provádějí statické výpočty podlah prádelny musí výrobce v technických parametrech výrobku uvádět mimo statické zatížení od vlastní hmotnosti pračky, náplně prádla a hmotnosti vodní náplně uvádět i dynamickou složku síly pocházející právě z uvedeného nevývažku.

Vzhledem ke stochastickému (náhodnému) výskytu maxima dynamického zatížení bylo nutno uvažovat o možnosti statistického zjištění pravděpodobného maximálního zatížení podlahy od provozu pracího stroje.

Tato práce rozpracovává problematiku statických a dynamických sil průmyslových pracích strojů do podlahy. Téma bylo zadáno na základě přímé konzultace ve firmě Alliance Laundry CE, která se v současnosti řadí mezi jedny z nejlepších výrobců průmyslové prádelenské techniky v Evropě. Již od roku 1902 firma vyrábí průmyslové pračky, sušiče a žehliče v té nejvyšší kvalitě pro různé typy uživatelů jako jsou např. hotely, restaurace, nemocnice, sociální ústavy, samoobslužné prádelny, domovní prádelny a komerční průmyslové prádelny.

Na základě zadání a po prvních konzultacích a seznámení s problematikou jsem si stanovila následující cíle:

1. Provést rešerši problematiky sil do podlahy na základě již provedených experimentů.
2. Provést rešerši problematiky vyhodnocování stochastických údajů na základě pravděpodobnostní teorie.
3. Navrhnout vhodnou metodiku měření.
4. Navrhnout vhodné snímače pro snímání sil do podlahy.

2. Rešerše

2.1. Problematika měření sil do podlahy

Ve spolupráci s vedoucím diplomové práce jsem prostudovala některé technické zprávy, které byly vypracovány v minulých letech a zabývaly se jak hodnotami dynamických sil působících do podlahy, tak napjatostmi v konstrukčních dílech pracích strojů.

Výsledkem bylo poměrně jednoduché konstatování, že naměřené hodnoty se při opakovaných pracích cyklech liší až několikanásobně a při malém počtu měření pracích cyklů s prádlem (obvykle tři až pět měření) není možno stanovit spolehlivě ani střední hodnotu, natož odhadnout pravděpodobné maximum.

Závěrem této rešerše byl jednoznačný požadavek měření daleko většího souboru pracích cyklů a aplikace statistických metod pro vyhodnocení požadovaných veličin.

2.2. Základní poznatky teorie pravděpodobnosti a statistiky

Při řešení složitých úloh v matematice, fyzice a jiných odvětvích se často setkáváme s neřešitelností těchto problémů klasickou analytickou cestou. Pro začátek je důležité se seznámit se základy problematiky.

Tato kapitola obsahuje základní principy a pojmů v pravděpodobnosti a statistice. Uvedeny jsou pouze základy nutné k pochopení další problematiky více lze nalézt v (15, 16, 17, 18).

2.3. Teorie pravděpodobnosti

Teorie pravděpodobnosti a matematická statistika se zabývá procesy, které se vyznačují tím, že nastanou-li určité podmínky, pak nutně nastane určitý výsledek. Tyto procesy označujeme jako deterministické. Stejně tak okolo nás existuje spousta věcí, jevů a událostí, které nelze předvídat – jsou důsledkem náhody. Takové procesy označujeme jako náhodné neboli stochastické. Jejich výsledek (náhodný jev) nemůžeme předem určit, protože podléhá vlivu množství často drobných, ne zcela zjištělných vlivů, které jsou příčinou toho, že při opakované realizaci podobných podmínek dostaneme různé (náhodné) výsledky.

Teorie pravděpodobnosti je matematická disciplína, jejíž logická struktura je budována axiomaticky. To znamená, že její základ tvoří několik tvrzení (takzvaných axiomů), která vyjadřují základní vlastnosti pravděpodobnosti, a všechna další tvrzení jsou z nich odvozena deduktivně.

Matematická statistika je věda zahrnující studium dat vykazujících náhodná kolísání, ať už jde o data získaná pečlivě připraveným pokusem provedeným pod stálou kontrolou experimentálních podmínek v laboratoři, či o data provozní, případně o data získaná počítačovými simulacemi (tzv. metodou Monte-Carlo).

2.4. Základní pojmy teorie pravděpodobnosti

Teorie pravděpodobnosti se opírá o několik základních pojmů, mezi něž patří náhodný pokus, náhodný jev a jevové pole.

Náhodný pokus je každý děj, jehož výsledek není předem jednoznačně určen podmínkami, za kterých probíhá. Klasické pojetí teorie pravděpodobnosti předpokládá, že náhodný pokus je, alespoň teoreticky, neomezeně opakovatelný. Příkladem náhodného pokusu tak může být hod kostkou, zjištění výšky jedince, zjištění maximální síly působící do podlahy apod.

Náhodná veličina (stochastický veličina) je libovolná veličina, kterou je možné opakovaně měřit u různých objektů, v různých místech nebo v různém čase a její hodnoty podrobit zpracování metodami teorie pravděpodobnosti nebo matematické statistiky. Příkladem může být počet ok při vrhu kostkou, teplota naměřená na určitém místě ve stejnou hodinu v různých dnech, roční mzda jednotlivých občanů státu, apod.

Náhodný výběr je náhodný vektor $X = (X_1, \dots, X_n)$, který vznikne n -krát opakováním nezávislých náhodných pokusů, jeho složky jsou náhodné veličiny X_i se stejným rozdělením pravděpodobnosti a n je rozsah náhodného výběru. Náhodný výběr odpovídá hodnotám jednotlivých realizací náhodné veličiny, která popisuje příslušný náhodný proces.

Pravděpodobnostní funkce určuje pravděpodobnost daného diskrétního jevu:

$$P(X = x_i) = P(x_i).$$

Příklad: pravděpodobnost u hodu mincí, kdy padne 0 „hlava“ a 1 „orel“. Výsledná

$$\text{pravděpodobnostní funkce vypadá takto: } f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}, x \in \{0,1\}, \\ 0, x \notin \{0,1\}. \end{cases}$$

Funkce náhodné veličiny je tzv. model popisující více či méně dobře realitu, kterou potřebujeme zjistit, chceme-li zpracovat výsledky náhodného pokusu.

2.5. Popisná statistika

Střední hodnoty (míry centrální tendence, míry polohy), které patří mezi vůbec nejstarší statistické pojmy. Je to parametr rozdělení náhodné veličiny, který je definován jako vážený průměr daného rozdělení (diskrétního, spojitého). Střední hodnota náhodné veličiny X se značí $E(X)$, nebo také nejlepší aproximací střední hodnoty je aritmetický průměr.

Aritmetický průměr, dospějeme k němu součtem všech hodnot v určitém souboru dat (x) a jeho vydělením celkovým počtem případů (n). Značí se obvykle vodorovným pruhem nad názvem proměnné, popř. řeckým písmenem μ .

$$\text{Definice: } \bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Medián (označován m nebo \tilde{x}) je bod, který dělí dané rozdělení na spodní polovinu a horní polovinu, a to tak, že 50% hodnot se nalézá v jedné polovině a 50% v druhé. Tedy bod, který dělí rozdělení na případy s nižším procentním výskytem a na případy s výskytem vyšším, než je hodnota daného percentilu. Medián není ovlivněn extrémními hodnotami, proto se používá u šikmých rozdělení, u kterých aritmetický průměr dává obvykle nevhodné výsledky. Např. u souboru $\{1, 2, 2, 3, 9\}$ je medián (stejně jako modus) roven dvěma, což je vhodnější míra polohy než aritmetický průměr, který je zde roven 3,4.

Modus náhodné veličiny (označováno jako $\text{Mod}(X)$ nebo \hat{x}) je hodnota, která se objevuje častěji ve statistice než ostatní. Je to hodnota znaku s největší relativní četností. Nejčastěji se využívá pro hledání typických případů. Např. modus souboru $\{\text{jablko, pomeranč, hruška, pomeranč, jablko, jablko, hruška}\}$ je jablko.

Rozptyl, jedná se o charakteristiku variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, která vyjadřuje variabilitu rozdělení souboru náhodných hodnot

kolem její střední hodnoty. Rozptyl je definován jako střední hodnota kvadrátů odchylek od střední hodnoty. Odchylku od střední hodnoty, která má rozměr stejný jako náhodná veličina, zachycuje směrodatná odchylka.

Rozptyl náhodné veličiny X se označuje $\sigma^2(X), S^2(X), D(X)$. V našem případě použijeme spojitě rozdělení, u spojitě náhodné veličiny rozptyl definujeme vztahem, kde $f(x)$ je hustota pravděpodobnosti veličiny X .

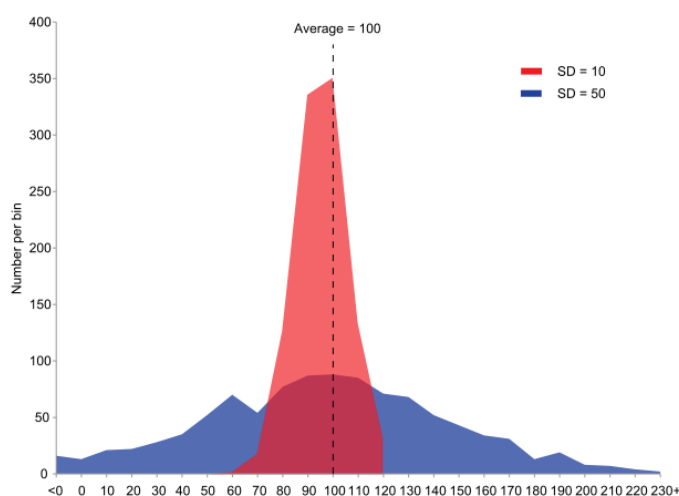
$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [x - E(X)]^2 f(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx - [E(X)]^2 \quad (2)$$

Směrodatná odchylka, u ní se jedná o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Zhruba řečeno vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Značí se písmenem σ a definuje se jako odmocnina z rozptylu náhodné veličiny X , tzn.

$$\sigma = \sqrt{D(X)} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2} \quad (4)$$

Příklad dvou populací hodnot se stejným aritmetickým průměrem a s rozdílnou směrodatnou odchylkou viz Obrázek 1. Červená populace má průměr 100 a směrodatnou odchylku 10; modrá populace má průměr také 100 a směrodatnou odchylku 50.



Obrázek 1 – Příklad směrodatné odchylky (7)

Výběrová směrodatná odchylka, jedná se o odmocninu z výběrového rozptylu. Používá se pro skutečný výpočet odhadu směrodatné odchylky na empiricky zjištěné řadě čísel- lze použít následující postup:

Mějme soubor reálných čísel x_1, \dots, x_n . Aritmetický průměr souboru lze vypočítat jako:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Potom výběrová směrodatná odchylka těchto dat může být vypočítána jako:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Hustota pravděpodobnosti. Rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny se určuje prostřednictvím funkce, kterou označujeme jako hustota rozdělení pravděpodobnosti. Pro spojitou náhodnou veličinu obecně neplatí, že také hustota pravděpodobnosti je spojitá.

Je-li $f(x)$ hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny X , pak platí, že celková pravděpodobnost v prostoru Ω kde je definiční obor veličiny X je rovna jedné:

$$\int_{\Omega} f(x) dx = 1 \quad (7)$$

Pro hodnoty x mimo definiční obor Ω je hustota pravděpodobnosti nulová. Definiční obor funkce je množina všech hodnot, pro které je funkce definována.

3. Statistika

Doposud byly uvedeny vlastnosti náhodných veličin, základní pojmy a jejich rozdělení. V mnoha případech je však třeba určit vlastnosti náhodné veličiny (střední hodnota, rozptyl ...) z omezeného počtu jejich náhodných pokusů, tehdy se využívají metody statistické indukce. Rozdělujeme dvě základní charakteristiky, výběrové a základní.

Základní charakteristiky jsou obecné, které nikdy známy nebudou a výběrové charakteristiky jsou ty, které máme z dat k dispozici a snažíme se, aby ta výběrová data byla obecně co nejbližší k datům, které máme k dispozici. Nejdříve základní pojmy:

- **Základní soubor** – je množina všech prvků, které jsou sledovány např. měření síly do podlahy.
- **Výběrový soubor** – část základního souboru, kterou zkoumáme, obvykle získaná náhodným výběrem.

Základní charakteristiky výběrového souboru:

Nejdůležitějšími charakteristikami základního souboru jsou střední hodnota a rozptyl, zde uvedeme ekvivalentní charakteristiky výběrového souboru.

Výběrový průměr – je náhodná veličina definována jako vzorec níže kde X_1, X_2, \dots, X_n je náhodný výběr z náhodné veličiny X o rozsahu n .

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (8)$$

Výběrový rozptyl – je náhodná veličina dána vztahem níže kde X_1, X_2, \dots, X_n je náhodný výběr z náhodné veličiny X o rozsahu n , a udává míru variability výběrového souboru.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{n}{(n-1)} \bar{X}^2 \quad (9)$$

Výběrový moment - je pojem z matematické statistiky. Pro přirozené číslo k je k -tý výběrový moment (nevyvážený odhad momentu) jisté reálné číslo charakterizující rozdělení náhodné veličiny. K -tý centrální moment se označuje:

$$m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^k \quad (10)$$

4. Základní spojitá rozdělení

Jak bylo zmíněno v úvodu, náhodná veličina jako soubor hodnot se rozděluje na diskrétní a spojitá rozdělení. Pro vypracování tohoto tématu jsem se sblížila s těmi třídami rozdělení, u kterých můžu předpokládat, že by bylo vhodné je použít, samozřejmě, že jsou i takové, které se nehodí. Mohli bychom předpokládat, že by bylo vhodné použití u Weibullova rozdělení, normální, log-normální rozdělení, Gamma rozdělení nebo Gumbelovo rozdělení.

V klasické statistice hraje hlavní roli normální rozdělení pravděpodobnosti, případně diskrétní rozdělení pravděpodobnosti, jako jsou binomické a Poissonovo. Tato rozdělení však v analýze určení max. sil do podlahy nenajdeme, diskrétní z toho důvodu, že předpokládáme spojitou náhodnou veličinu, a normální rozdělení z důvodu, že naměřené síly do podlahy mají kladně sešikmené rozdělení. Nejčastěji používaná rozdělení pravděpodobnosti v této analýze jsou následující:

- Normální rozdělení,
- Logaritmicko-normální rozdělení,
- Weibullovo rozdělení,
- Gamma rozdělení,
- Gumbelovo rozdělení.

Spojité náhodné veličiny, které jsou dány buď distribuční funkcí, popř. hustotou pravděpodobnosti může podléhat buď rozložení rovnoměrnému, nebo exponenciálnímu.

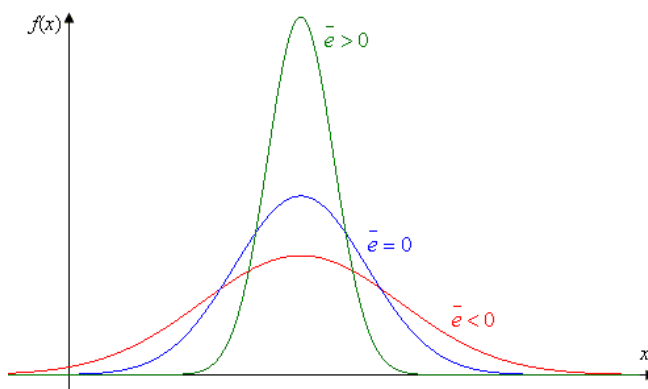
- **Rovnoměrné rozložení** – jde o rozdělení, jehož hustota pravděpodobnosti je konstantní na nějakém intervalu (a ; b) a všude jinde je nulová.
- **Exponenciální rozdělení** – jde o popis doby do výskytu první události, popř. doby mezi událostmi kde se v určitém časovém intervalu s konstantní střední rychlostí výskytu objevují události, které jsou na sobě nezávislé.

Mezi hlavní výhody parametrických odhadů patří:

- Jednodušší odhad kvantilů funkce sil do podlahy, zejména mediánu a střední hodnoty,
- Možnost vyjádření hlavních charakteristik náhodné veličiny pomocí spojitě funkce,
- Nižší variabilita, respektive standardní chyba, odhadů hlavních charakteristik náhodné veličiny.

4.1. Normální rozdělení

Označováno též obecné normální rozdělení či Gaussovo rozdělení. Je jedním z nejdůležitějších rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny. Tímto rozdělením pravděpodobnosti se sice přesně řídí jen málo náhodných veličin, ale jeho význam spočívá v tom, že za určitých podmínek dobře aproximuje řadu jiných pravděpodobnostních rozdělení (spojitých i diskrétních). Značí se $Norm(\mu, \sigma)$.



Obrázek 2 – Graf hustoty pravděpodobnosti (8)

Normální rozdělení se používá v případě, kdy potřebujeme maximální věrohodnost zjistit analyticky. Jeho specifikem je, že střední hodnota a rozptyl jsou dány jako parametry rozdělení, jeho hustota pravděpodobnosti je dána jako:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, x \in R \quad (11)$$

Výhody:

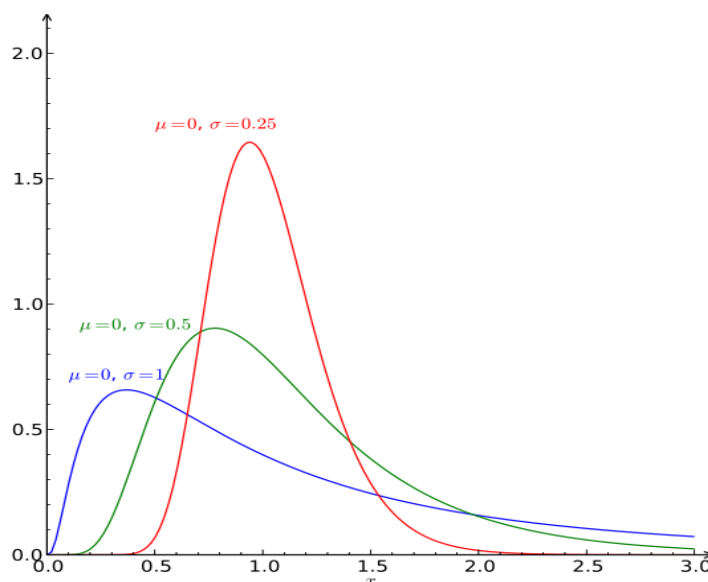
- některá data dobře popisuje,
- hodně jevů se k tomu blíží,
- spoustu vlastností se tímto rozdělením dá popsat (i v přírodě),
- snadno se derivuje a díky tomu je možné jednoduše dokázat, že střední hodnota je aritmetický průměr a nejlepší odhad σ je směrodatná odchylka.

Nevýhody:

- normální rozdělení je hodně centrované kolem střední hodnoty, s malými kvantily,
- nepopisuje zcela přesně data, kvůli chvostu ukončující křivku (chvost dat je hodně slabý a vyhodnocuje, že tam žádná data nejsou, ale přitom mohou být. Proto to při vyhodnocování maxim není příliš vhodné rozdělení).

4.2. Logaritmicko-normální rozdělení

Je spojitě rozdělení pravděpodobnosti jednorozměrné reálné náhodné veličiny X , takové, že náhodná veličina $\ln(X)$ má normální rozdělení se střední hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ . Značí se $\text{Log-norm}(\mu, \sigma)$.



Obrázek 3 – Hustoty log-normálního rozdělení se stejným parametrem μ a různými parametry σ (9)

Při popisu náhodných veličin nabývajících pouze kladných hodnot a to v případech kdy hustota pravděpodobnosti je asymetrická používáme tuto pravděpodobnost. Hustota pravděpodobnosti je:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{\ln x - \mu}{2\sigma^2}\right)^2}; \text{ pro } x > 0 \quad (12)$$

$$f(x) = 0; \text{ pro } x \leq 0 \quad (13)$$

Výhody:

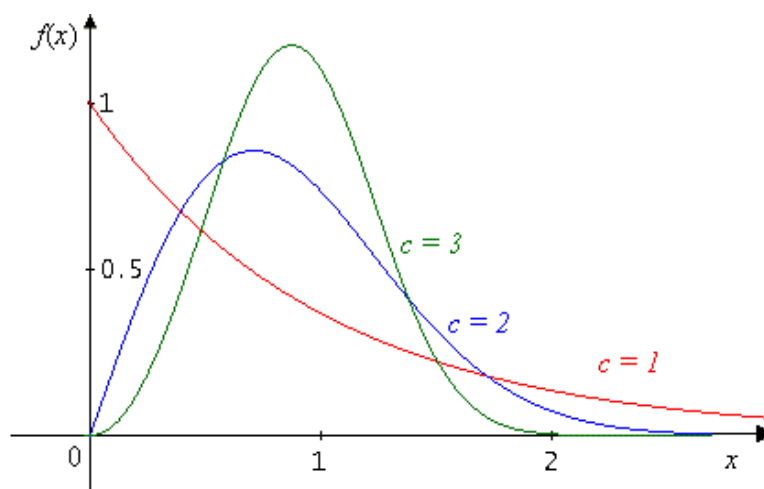
- u logaritmicky normálního rozdělení jsou koncové chvosty větší než u normálního rozdělení,
- rozložení dat popisuje o něco lépe než u normálního rozdělení,
- je možný analytický výpočet,
- jednodušeji se s ním pracuje.

Nevýhody:

- nepopisuje zcela přesně data, podobně jako u normálního rozdělení.

4.3. Weibullovo rozdělení

Toto rozdělení má spojitá náhodná veličina, která představuje dobu života (bezporuchovosti) technických zařízení, kterým nevyhovuje exponenciální. To je tam, kde se projevuje mechanické opotřebení nebo únava materiálu. Značí se $Wei(\lambda, \beta)$.



Obrázek 4 – Graf hustoty pravděpodobnosti (10)

Umožňuje modelovat dobu do výskytu události:

$$f(x) = 1 - e^{-(\lambda x^\beta)}, x > 0 \quad (14)$$

$$f(x) = 0, x \leq 0 \quad (15)$$

Výhody:

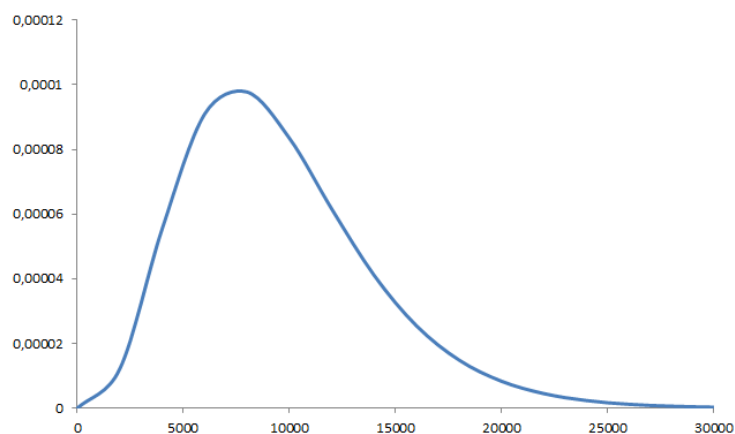
- obecně nejlépe popisuje data, maxima,
- v technické praxi hodně využíváné.

Nevýhody:

- není možné získat analyticky odhad parametrů, jako to bylo u Normálního rozdělení.

4.4. Gamma rozdělení

Tuto funkci lze použít pro zkoumání proměnných, které mohou mít asymetrické rozdělení. Gamma rozdělení udává dobu α -tého výskytu (α nemusí být celé číslo). Značí se *Gamma* (λ, α) .



Obrázek 5 – Graf hustoty pravděpodobnosti (11)

Hustota pravděpodobnosti je dána funkcí $f(x)$ viz níže, kde funkce Γ je rozšířená funkce faktoriál na R , tedy pro $n \in N$ platí:

$$f(x) = \frac{\lambda e^{-\lambda x} (\lambda x)^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)}, x > 0; \alpha, \lambda > 0 \quad (16)$$

$$(n-1)! = \Gamma(n) = \int_0^{\infty} y^{n-1} e^{-y} dy \quad (17)$$

Výhody:

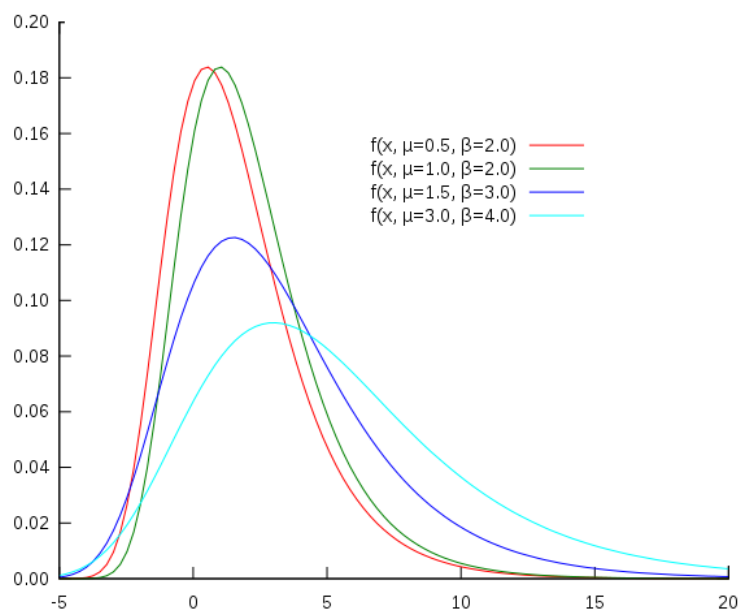
- dobře popisuje data, maxima,
- v technické praxi hodně využíváné.

Nevýhody:

- není možné získat analyticky odhad parametrů.

4.5. Gumbelovo rozdělení

V teorii pravděpodobnosti a statistice, Gumbelovo rozdělení, též. extrémální rozdělení typu 1, Toto rozdělení v analýze maximálních sil (nebo minimálních) do podlahy najdeme. Používá se v případě, že rozdělení základního vzorku dat je normální, nebo exponenciálního typu. Značí se *Gumbel* (μ, β) .



Obrázek 6 – Graf hustoty pravděpodobnosti (12)

Hustota pravděpodobnosti se dá vyjádřit distribuční funkcí:

$$f(x) = e^{-e^{-(x-\mu)/\beta}} \quad (18)$$

Naše data nepodléhají tomuto rozdělení, ale obecně by mohlo být využíváno.

Výhody:

- v technické praxi hodně využíváno,
- vhodná pro určení maxima nebo minima.

Nevýhody:

- není možné získat analyticky odhad parametrů,
- potřebuje mít základní rozložení dat normální nebo exponenciální.

5. Teorie odhadu

Obecně můžeme předpokládat, že zkoumaná data je možno popsat určitou náhodnou veličinou. Pro jisté druhy aplikací je podstatný druh této neznámé náhodné veličiny, ve většině případů je postačující dokonale popsat hledanou náhodnou veličinu pomocí známých čísel – parametrů této náhodné veličiny. Převážně jsou tyto parametry rovny některému ze základních momentů této neznámé náhodné veličiny. Základní úlohou teorie odhadu je vypracování metod na jejich základě je možnost z vybraných dat získat pokud možno nejlepší odhad hledaných parametrů náhodné veličiny, které popisuje rozdělení pravděpodobnosti (viz 22).

Teorie odhadu dělíme na:

- náhodný výběr (Náhodný výběr bez vrácení, s vrácením),
- bodový odhad (Metoda maximální věrohodnosti, Momentová metoda).

5.1. Náhodný výběr

Náhodným výběrem ze základního souboru, který je popsán pomocí hustoty (kde θ je neznámý parametr), nazývám posloupnost nezávislých náhodných veličin X_1, X_2, \dots, X_n , z nichž každá je popsána stejnou hustotou $f(x|P, \theta)$. Přírozené číslo n je potom rozsahem výběru. V případě, že jsou naměřená data popsána jako spojitě rozdělení je hodnota $f(x|P, \theta)$ chápána jako hustota tohoto rozdělení.

Příklad: Chceme zjistit maximální síly, které působí při používání pračky do podlahy.

- Logicky můžeme změřit celý průběh pracího cyklu.
- Koncentraci sil považujeme za náhodnou veličinu s nějakým neznámým rozdělením a se střední hodnotou μ .
- Z naměřených maximálních hodnot vezmu náhodně n sil: naměřená koncentrace u těchto n sil bude tvořit náhodný výběr.
- Výběrový průměr je náhodná veličina (kdybychom získali znovu jiný náhodný výběr, dostali bychom jiné hodnoty X_i a tudíž jiný výběrový průměr).
- Lze tedy uvažovat jeho rozdělení, střední hodnotu, rozptyl a všechny ostatní charakteristiky.

Označme μ střední hodnotu a σ^2 rozptyl veličin X_1, \dots, X_n platí:

$$E\bar{X}_n = EX_i = \mu \quad (19)$$

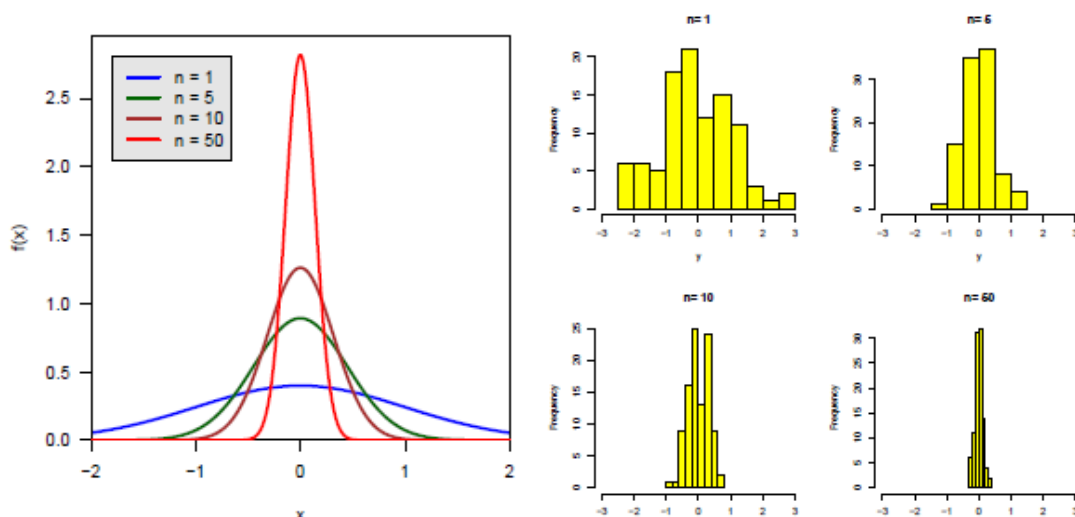
$$\text{var } \bar{X}_n = \frac{1}{n} \text{var } X_i = \frac{\sigma^2}{n} \quad (20)$$

Pochází-li náhodný výběr z normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, pak výběrový průměr má také normální rozdělení,

$$\bar{X}_n \approx N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right). \quad (21)$$

Normovaný průměr $\sqrt{n} \frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma}$ má potom $N(0, 1)$. Tato věta nám (mimo jiné) říká:

- Budeme-li opakovaně provádět experiment a v každém opakování změříme n dat, pak v průměru bychom měli dostat skutečnou střední hodnotu μ .
- Variabilita průměru klesá se zvyšujícím se n .
- Čím vícekrát pračku proměříme, tím je menší variabilita průměru a tedy dostáváme přesnější hodnoty blíže hledanému μ .



Obrázek 7 – Ilustrace vlastností výběrového průměru (13)

5.2. Bodový odhad

Bodový odhad se provádí nejčastěji pomocí dvou typů postupů. Je to momentová metoda a metoda maximální věrohodnosti.

5.2.1. Momentová metoda

Jedna z metod, která se se nejčastěji používá na odhad parametrů pravděpodobnostních rozdělení. Spočívá v tom, že porovnáváme výběrové momenty získaných dat (viz kapitola 3) s odpovídajícími teoretickými momenty předpokládaného rozdělení s hustotou f . Metoda vede na řešení soustavy takového počtu rovnic, kolik je neznámých parametrů.

5.2.2. Metoda maximální věrohodnosti

V mé práci pracuji s Metodou maximální věrohodnosti. Tato metoda umožňuje získat velmi dobré odhady jednotlivých parametrů, proto je častěji užívaná v technické praxi (více lze nalézt ve článku zde 31).

Metoda maximální věrohodnosti je principiálně jednoduchá metoda pro konstrukci odhadů neznámých parametrů známých rozdělení pravděpodobnosti, která je založena na maximalizaci věrohodnostní funkce, což je sdružená hustota pravděpodobnosti daného náhodného výběru, brána ovšem jako funkce neznámých parametrů.

Maximálně věrohodné odhady získáváme z věrohodnostní funkce. Věrohodnostní funkce je vyjádření pravděpodobnosti (v případě spojité náhodné veličiny hustoty pravděpodobnosti) získání konkrétního náhodného výběru $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ z daného rozdělení.

Na čem je založena metoda maximální věrohodnosti:

Odhady získané touto metodou se všeobecně vyznačují dobrými statistickými vlastnostmi.

Když $(t_1, \dots, t_n)^T$ je náhodný výběr z rozdělení s hustotou $f(t; \theta)$, kde θ je neznámý parametr. Cílem je nalézt funkci (zvanou funkce věrohodnosti) danou:

$$L(t_1, \dots, t_n; \theta) = f(t_1; \theta) \cdot f(t_2; \theta) \dots f(t_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \quad (22)$$

a z ní pak získat $\hat{\theta} = \hat{\theta}(t_1, \dots, t_n)$ bylo co nejlepším odhadem pro θ . Pravá strana rovnice je sdružená hustota pravděpodobnosti n -nezávislých proměnných (t_1, \dots, t_n) se stejným rozdělením.

Jelikož L je jednoduše funkcí neznámého parametru θ , který je odhadován, metoda maximální věrohodnosti je založena na získání takové hodnoty θ , která maximalizuje L .

Při praktických výpočtech se ukázalo jako výhodnější maximalizovat spíše funkci $\ln L$ namísto L , což je možné proto, že obě tyto operace jsou ekvivalentní a dávají stejné výsledky.

Podmínkou optimality je tedy rovnice:

$$\frac{\partial \ln L(t_1, \dots, t_n; \theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (23)$$

Hodnota parametru získaná z této podmínky se nazývá maximálně věrohodný odhad parametru θ .

Příklad: Chceme zjistit maximální síly, které působí při používání pračky do podlahy.

Smysl toho je, že mám data, u kterých vím, že pochází např. z normálního rozdělení, to znamená, že mužů mít jakoukoli střední hodnotu a jakýkoli rozptyl viz kapitola 6.1, který není nulový a není nekonečný a to vědět nestačí hlavně z toho důvodu, že potřebuji vědět konkrétní střední hodnotu a konkrétní rozptyl a metoda maximální věrohodnosti mi dá konkrétní metodiku, jak nejlépe zjistí parametry daného rozdělení.

5.3. Vlastnosti odhadu

Dobrý odhad musí splňovat určité vlastnosti. Mezi těmito základními vlastnostmi patří:

- nestrannost (nevychýlenost, nezkreslenost),
- vydatnost (eficience),
- konzistence,
- dostatečnost.

Nestranný odhad - Znamená to, že tento odhad systematicky nenadhodnocuje ani nepodhodnocuje odhadovaný parametr.

Příklady nestranných odhadů:

- \bar{X} je nestranným odhadem střední hodnoty (limitní věty),
- výběrová relativní četnost p je nestranným odhadem relativní četnosti (podílu) π .

Vydatný (eficientní) odhad - Nestrannost sama o sobě nezaručuje, že je odhad „dobrý“. Cílem je dosáhnout toho, aby bodové odhady byly rozloženy co nejtěsněji kolem odhadovaného parametru. Pokud budou dva nestrannými odhady $\hat{\theta}_1$ a $\hat{\theta}_2$, vyberu si ten, který bude mít menší rozptyl. Tato vlastnost se nazývá vydatnost.

Příklady vydatných odhadů:

- \bar{X} je nejlepším nestranným odhadem střední hodnoty (limitní věty),
- výběrová relativní četnost p je nejlepším nestranným odhadem relativní četnosti (podílu) π .

Konzistentní odhad - Další žádoucí vlastností dobrého odhadu je konzistence. Odhad je konzistentní, pokud se s rostoucím rozsahem výběru (n) zpřesňuje, k čemuž dochází při určitých podmínkách.

$\hat{\theta}$ je asymptoticky nestranný, tj. $E\hat{\theta} \rightarrow \theta$; $\lim_{n \rightarrow \infty} D\hat{\theta} = 0$

Příklady konzistentních odhadů:

- \bar{X} je konzistentním odhadem střední hodnoty, protože $D\bar{X} = \frac{\sigma^2}{n} \rightarrow 0$ pro $n \rightarrow \infty$,
- výběrová relativní četnost p je konzistentním odhadem relativní četnosti (podílu) π , protože $Dp = \frac{\pi(1-\pi)}{n} \rightarrow 0$ pro $n \rightarrow \infty$.

Dostatečný (postačující) odhad - Odhad parametru je dostatečný, jestliže obsahuje veškerou informaci o sledovaném parametru, kterou může výběrový soubor poskytnout. Znamená to, že žádný jiný parametr neobsahuje větší množství informace o výběrovém souboru.

Příklady dostatečných odhadů:

- \bar{X} je dostatečným odhadem střední hodnoty, protože pro jeho výpočet jsou použity všechny hodnoty výběrového souboru (nese největší informaci, srovnatelný například s mediánem),
- výběrová relativní četnost p je dostatečným odhadem relativní četnosti (podílu) π , protože pro její výpočet jsou použity všechny hodnoty výběrového souboru.

6. Teorie spolehlivosti

Hlavními nástroji jsou zde teorie pravděpodobnosti a matematická statistika. Hlavní matematickou záležitostí je např. stanovení charakteristik spolehlivosti, jako jsou zaručená doba života, střední doba bezporuchového provozu, údržba, opravy aj.

Matematická statistika a teorie pravděpodobnosti nám umožňují popis jevů, jejichž podstatu dokonale neznáme, ale jejich zákonitosti vzniku jsou pro stanovení spolehlivosti velmi důležité. Jsou to např. fyzikální zákonitosti, proces stárnutí, koroze, únava materiálu. Protože z hlediska fyziky je analýza těchto jevů příliš složitá, je potřeba zjišťovat data v delším čase statisticky. To většinou vyžaduje sběr, přenos a zpracování informací přímo z provozu, jako např. v našem případě sbírání dat maximálních sil do podlahy pracích strojů. Spolehlivost jakožto obecnou vlastnost výrobku splňovat po určitou dobu a za určitých podmínek danou funkcí

6.1. Testy rozdělení

Test rozdělení, je test na pravděpodobnosti, jestli data náleží tomu rozdělení (tzn., nezamítnu rozdělení, v případě že pravděpodobnost (P-value) je větší než 0,05.

6.1.1. Test dobré shody

Test dobré shody (také Pearsonův chí-kvadrát test) je metoda matematické statistiky, která umožňuje ověřit, zda má náhodná veličina určité předem dané rozdělení pravděpodobnosti. Takové rozdělení může být dáno včetně parametrů, nebo s neznámými parametry. Jsou založeny na dvou různých hypotézách:

Test dobré shody – který určuje na kolik se pomocí určitého rozdělení, sestaveného výzkumníkem buď přímo z porovnání dat, nebo z dat experimentálních, může efektivně popsat výběrový soubor získaný z daného základního souboru

Koeficient kontingence – který zjišťuje rozdíl mezi pozorovanými a teoreticky předpokládanými hodnotami. Součet všech hodnot tedy pozorovaného počtu a předpokládaného počtu dělíme předpokládaným počtem.

$$\text{Chí kvadrát} = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad (24)$$

7. Měření statických a dynamických sil u průmyslových pracích strojů

Dynamické účinky, vznikající od nevývažku zejména v režimu odstředování, jsou ovlivňovány množstvím prádla, typem prádla a rozložením prádla při odstředování. Podle typu pracího stroje může vzniknout nevývažek, který je obvykle o 10% až 20% vyšší, než je jmenovitá náplň prádla umístěného na bubnu.

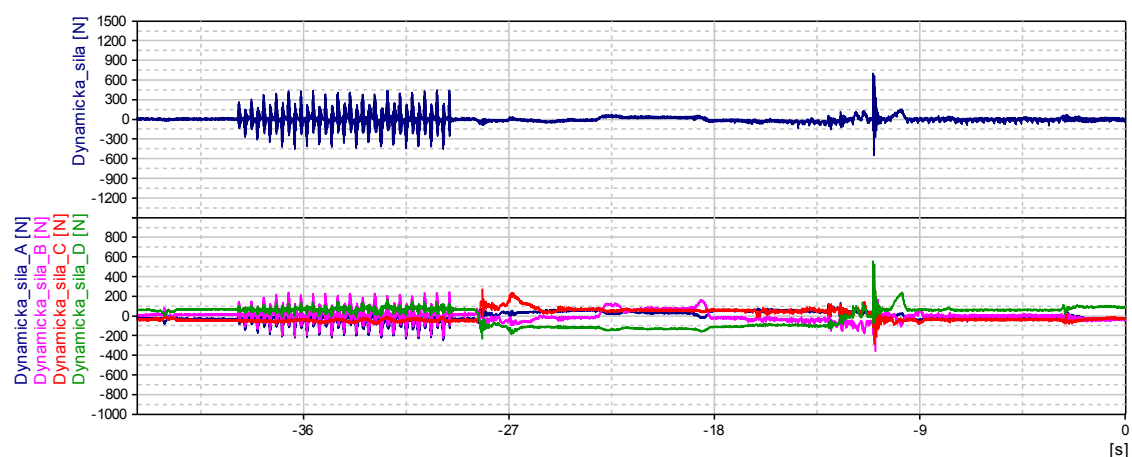


Obrázek 8 – Vložené suché prádlo v bubnu pracího stroje

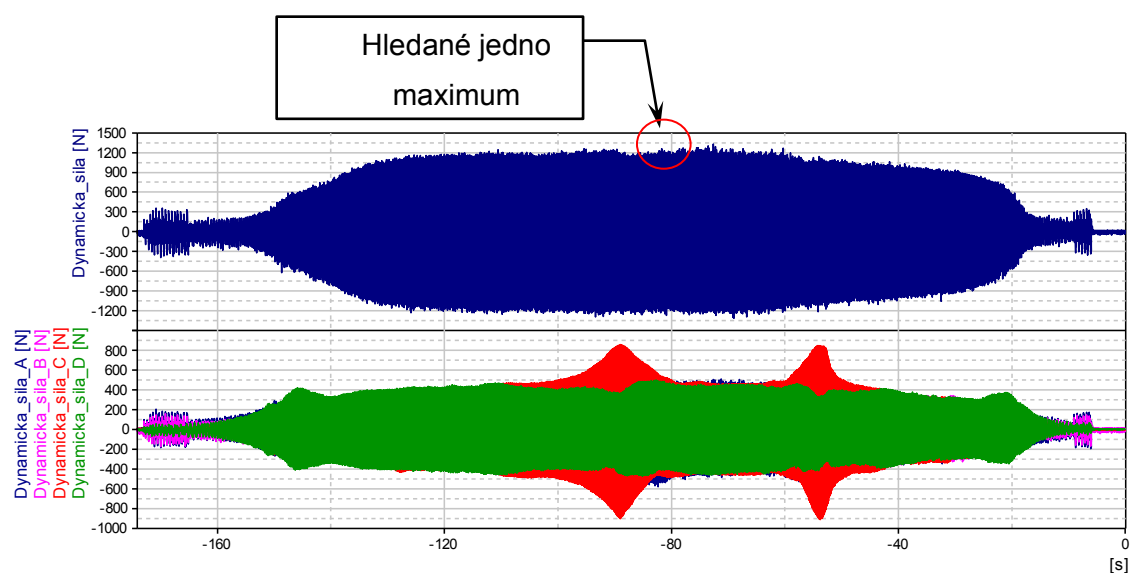
Jak už bylo uvedeno v úvodu, hlavním důvodem pro udání maximálního statického i dynamického zatížení podlahy je omezení povoleného zatížení podlah, daného zejména jejich povoleným průhybem. Pro informaci uvádím, že běžně jsou navrhovány podlahy obytných domů na 300 kg/m^2 , u laboratoří je to 500 kg/m^2 .

Měření sil do podlahy bylo zatím prováděno tak, že byl zaznamenáván celý průběh pracího cyklu a z něj byla vyhodnocována jedna maximální hodnota. Příklad záznamu takového měření je na obrázku níže (Obrázek 9).

Při snaze o určení pravděpodobných maximálních hodnot sil na základě dosavadních měření se ukázalo, že dosud měřený počet opakování pracích cyklů je nedostatečný pro dostatečně spolehlivé určení maximálních hodnot.



Obrázek 9 – Jeden prací cyklus praní (horní graf suma sil, dolní graf síly v jednotlivých snímačích)(6)



Obrázek 10 – Jeden prací cyklus odstředění (horní graf suma sil, dolní graf síly v jednotlivých snímačích)(6)

Proto bylo potřebné zjistit:

- kolik opakovaných měření veličiny je potřebné pro určení maxima s dostatečnou pravděpodobností,
- jaký typ rozložení pravděpodobnosti je vhodné použít.

8. Metodika

Pro určení správné pravděpodobnostní funkce je nutno mít poměrně rozsáhlý soubor dat stejné veličiny, v našem případě maximální síly z opakovaného pracího cyklu. V této kapitole jsou použity informace z (6).



Obrázek 11 – Měření sil pracího stroje

Protože opakované měření pracích cyklů v řádu desítek opakování za účasti obsluhy měřicího přístroje je zdlouhavé a neefektivní je nutné realizovat automatické snímání maximálních hodnot pracího cyklu.

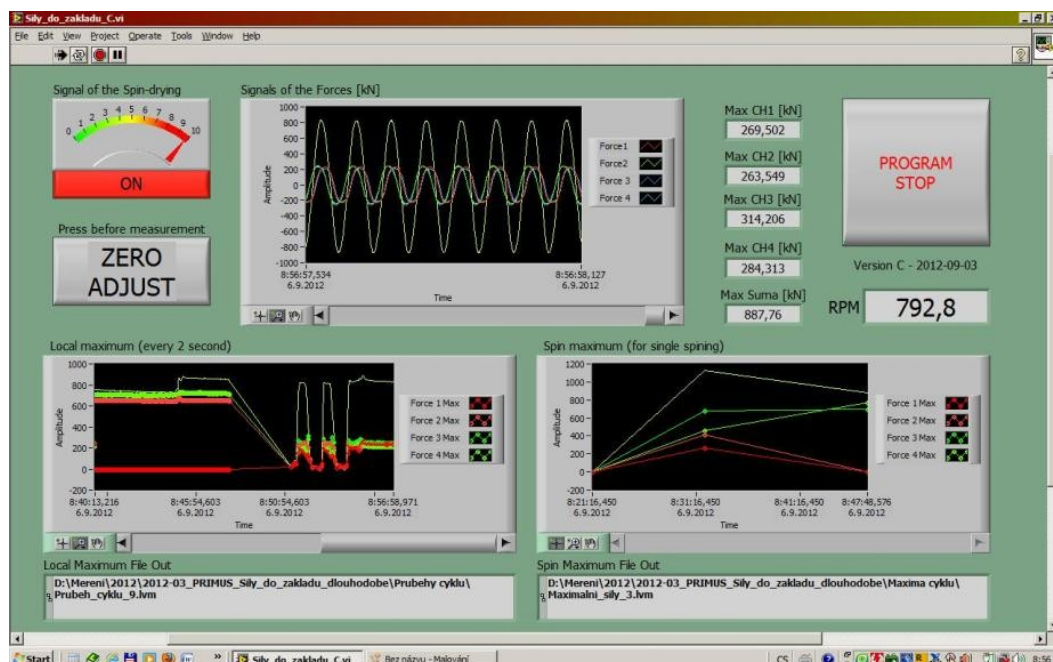
Metodiku měření předvádím na jednom typu pracího stroje, přičemž tato metodika byla postupně vyvíjena panem doc. Foltou jak z hlediska použitých snímačů (v mém případě výpočet dvou různých snímačů pomocí MKP analýzy), tak byl upravován použitý software, tak aby vyhovoval k danému měření.

Po seznámení dat z předchozích měření a konzultaci této diplomové práce se přikláním k tomu, že největší maxima jsou při rozvolňování a odstředování, z důvodu, že dynamické účinky v této části pracího cyklu byly vždy výrazně vyšší, než z oblasti praní. Proto data, které jsou naměřeny a použity v této práci, jsou z okamžiku, kdy u pračky nastane rozvolňování a odstředování.



Obrázek 12 – Měření sil do podlahy

Hlavní myšlenkou vývoje software bylo odstranit nutnost dlouhodobých záznamů, které jsou jak zdrojem rozsáhlých dat, tak jsou časově náročné na vyhodnocení. Pro měření byl vyvinut speciální software, který sledoval výskyt maximálních hodnot (Obrázek 13). Autorem je doc. Folta.



Obrázek 13 – Čelní panel softwaru (6)

Jeho funkce je následující:

Po získání signálu z pracího stroje, že se spustil režim odstředování, začne software zaznamenávat síly působící ve čtyřech snímačích umístěných v místech upevňovacích otvorů pracího stroje. Zároveň je zaznamenávána hodnota otáček bubnu.

V pravidelných třisekundových intervalech vyhodnotí z tohoto intervalu jak maximální hodnotu z každého snímače, tak maximum součtu okamžitých hodnot za všech čtyř snímačů, zaznamená ji do paměti a pokud je tato hodnota větší než v předchozích intervalech daného odstředovacího cyklu, zaznamená si tuto hodnotu

jako maximum daného odstředovacího cyklu. Zároveň se pro každý tento interval zaznamená hodnota otáček bubnu.

Po skončení odstředovacího cyklu je k dispozici soubor s lokálními třísekundovými maximy, které slouží zejména pro kontrolu extrémů (zda se nejedná o chybu elektrického signálu) a s hodnotou maxima (pro každý signál a součtový) pro daný cyklus ve společném souboru pro daný měřicí cyklus.

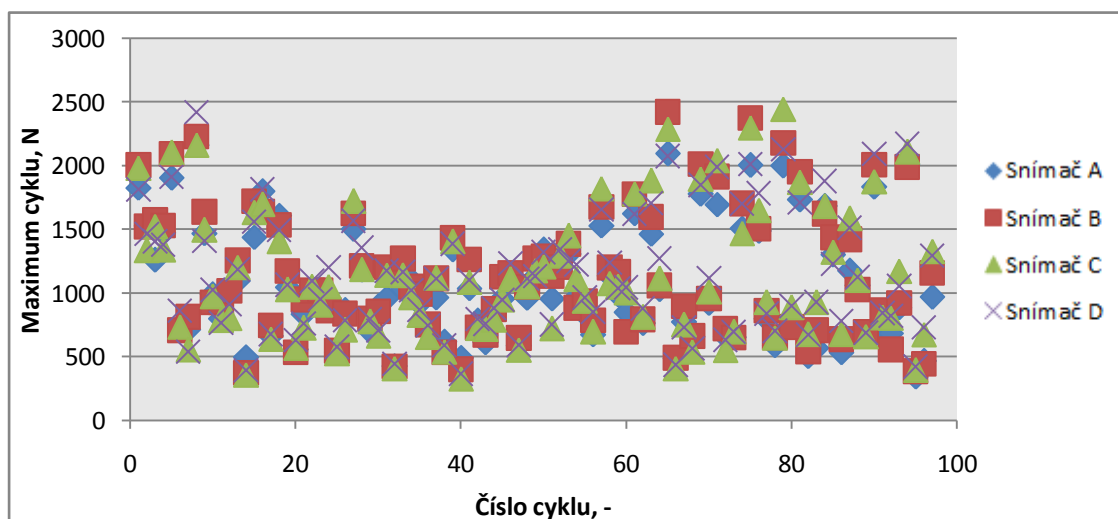
Výsledkem měření je pak soubor maxim naměřených za zvolené časové období dané spuštěním a zastavením práce měřicího software obsluhou.

8.1. Naměřené hodnoty

V současnosti je naměřeno již několik měření hodnot maximálních sil působících do podlahy na pracích strojích různých velikostí, typů, hmotností. Pro ilustraci metodiky vyhodnocení jsem v této práci vybrala data z měření tří pracích strojů, které jsem označila jako typ A, typ B a typ C.

Prací stroj typ A:

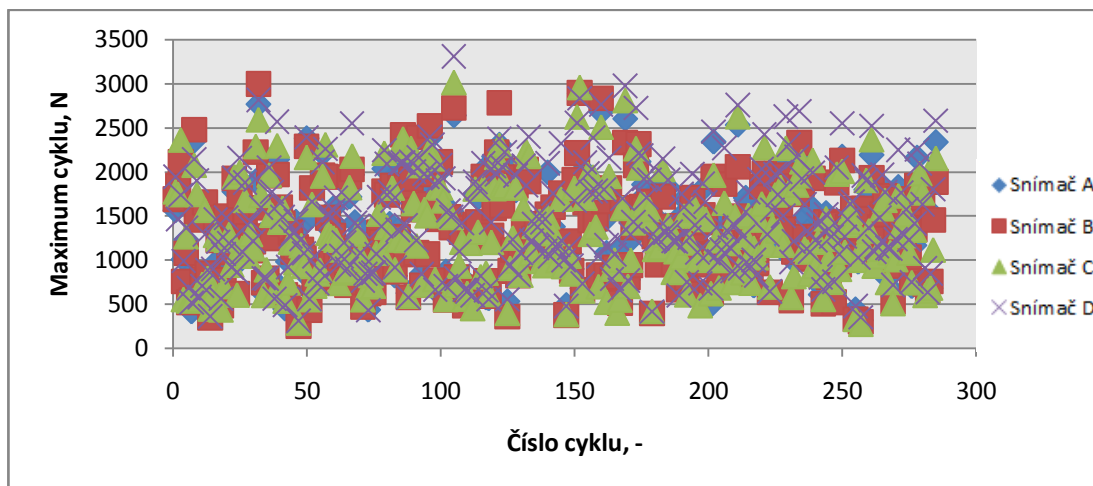
Záznam měření pračky na 8 kg se 100% náplní, naměřená hmotnost pracího stroje je určena vážením na váze firmy Primus na 135kg. Počet hodnot maxim sil působících do podlahy pracího stroje typu A je 100 při praní prádla (Obrázek 14).



Obrázek 14 – Záznam maxim sil do podlahy na jednotlivých snímačích

Prací stroj typ B:

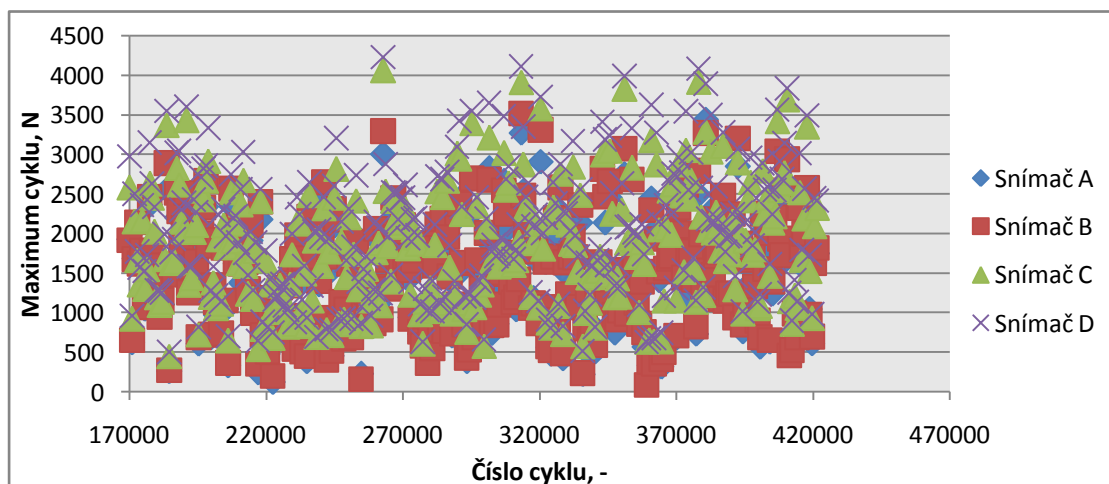
Záznam měření se 100% náplní riflí na 10,5 kg prádla, naměřená hmotnost pracího stroje je určena vážením na váze firmy Primus na 169kg. Počet hodnot maxim sil působících do podlahy pracího stroje typu B je 312 při praní prádla (Obrázek 15).



Obrázek 15 – Záznam maxim sil do podlahy na jednotlivých snímačích

Prací stroj typ C:

Záznam měření se 100% náplní na 18kg prádla, naměřená hmotnost pracího stroje je určena vážením na váze firmy Primus na 315kg. Počet hodnot maxim sil působících do podlahy pracího stroje typu C je 308 při praní prádla (Obrázek 16).

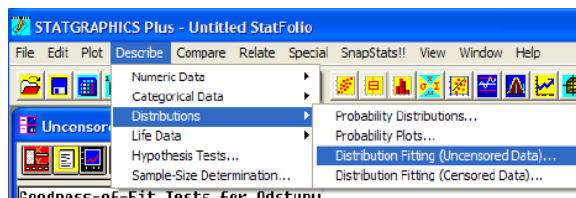


Obrázek 16 – Záznam maxim sil do podlahy na jednotlivých snímačích

Na všech uvedených grafech je zřejmý poměrně velký rozptyl hodnot jednotlivých maxim vyžadující statistické zpracování.

8.2. Určení typu rozdělení pravděpodobnosti

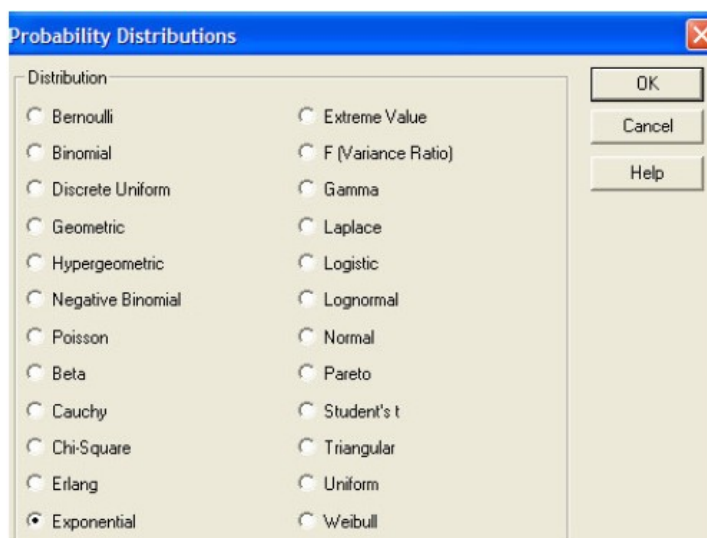
Pro určení maximální pravděpodobné hodnoty výskytu maxima je nutno provést analýzu získaných maxim a určit rozdělení, které co nejlépe vystihuje daný výskyt hodnot. To jsem provedla pomocí software Statgraphics.



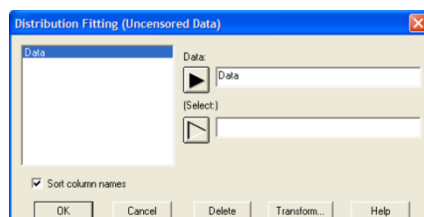
Obrázek 17 – Úvodní lišta z programu Statgraphics

Prvním krokem je určit o jaké rozdělení se jedná. V tomto případě se jedná o spojité rozdělení, protože diskrétní rozdělení se nejčastěji používá pro celočíselné hodnoty (nejběžnější jsou Poissonovo a binomické) a proto nejsou svými vlastnostmi vhodné použít.

Dále je potřeba určit třídu rozdělení na základě rozboru ve 4. Kapitole předpokládám, že se jedná o jedno z následujících rozdělení: Normální, Log-normální, Weibullovo, Gumbelovo, Gamma a Gumbelovo rozdělení, neboť ty jsou vhodné pro hledání maximálních hodnot.



Obrázek 18 – Zadávání potřebných rozdělení



Obrázek 19 – Zadané data jako testované hodnoty

Princip ukáži na hustotě pravděpodobnosti normálního rozdělení definovaného vztahem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, x \in R \quad (25)$$

Pro toto rozdělení hledám extrém (extrém věrohodnostní funkce, v případě normálního rozdělení je to střední hodnota μ a rozptyl σ^2).

Jako první hledám hodnoty těchto parametrů s nejlepším odhadem.

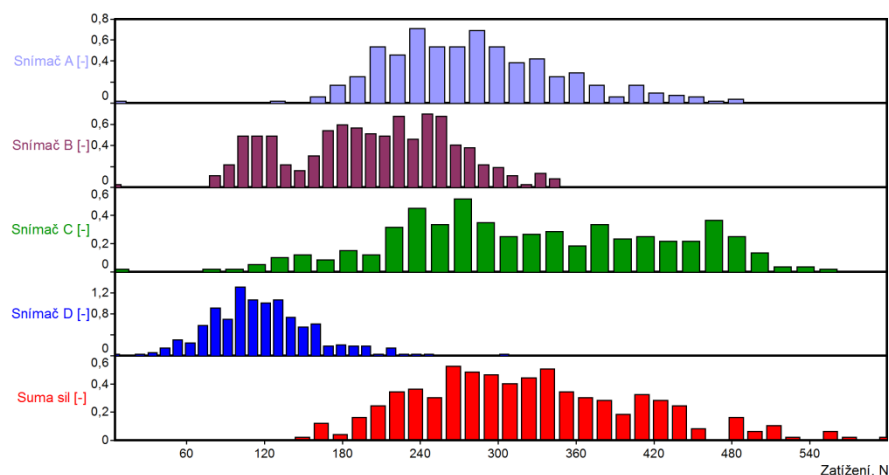
Další krok u exponenciálních rovnic jako je normální rozdělení se dá řešit výpočtem pomocí derivací střední hodnoty nebo rozptylu, při které zjistím jejich extrém. A zjistím, že nejlepší odhad střední hodnoty je aritmetický průměr a stejně tak nejlepší odhad rozptylu je výběrová směrodatná odchylka. Můžu tedy říct, že u normálního rozdělení to vyjde jasně (u jiných rozdělení to nemohu řešit analyticky, ale musí to řešit numerickými metodami).

Následující krok programu má ty funkce, že po určení nejlepšího odhadu použije metodu, která kontroluje jeho správnost (v mém případě zvolená metoda maximální věrohodnosti).

Protože v tuto chvíli mi program neřekne, že se jedná opravdu o to dané rozdělení, tedy Normální, zatím nám to jen říká nejlepší odhad za předpokladu, že to má dané rozdělení a dál proto musím zpětně ověřit, jestli se jedná o toto rozdělení, a to dělám pomocí testů na rozdělení (chí-kvadrát test dobré shody).

Takže si úvahou řeknu, jak by mělo obecně vypadat Normální rozdělení a jak vypadá nasimulované v programu Statgraphics. Pokud má rozdělení stejné parametry, a tedy je toto Normální rozdělení vzorem k rozložení dat, a vyjde číslo, pravděpodobnost (P-value). Pokud je pravděpodobnost menší než 0,05, tak to program zamítne, a tedy vím, že to není Normální rozdělení, které jsem určila na začátku. V tom případě dalším postupem by bylo takto testovat další druhy rozdělení pravděpodobnosti.

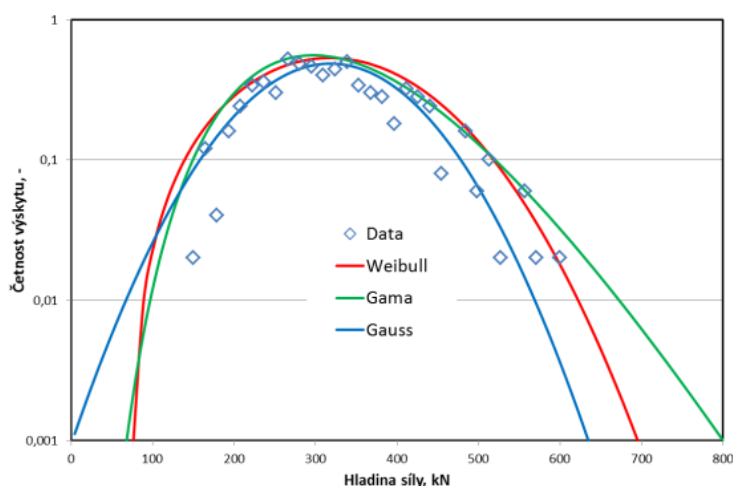
Na následujícím grafu (Obrázek 20) je ukázka provedené hladinové schematizace měření sil do podlahy.



Obrázek 20 – Příklad výsledku schematizace (6)

Protože cílem měření a výpočtů je získat nikoliv absolutní hodnotu síly, ale poměr mezi pravděpodobným maximem a vhodnou referenční hodnotou (střední hodnota či medián), je schematizace provedena v relativních hodnotách (součet četností = 1).

Ze sloupčovitých diagramů je vidět, že i pro tak velký počet vyhodnocovaných údajů (zde 341) je rozložení ne zcela rovnoměrné a navíc je možné vysledovat i určitou nesymetrii rozdělení. Proto bylo dalším úkolem určit, jaké pravděpodobnostní rozdělení nejlépe reprezentuje naměřená data. Následující graf (Obrázek 21) ilustruje problematiku nahrazování schematizovaných dat matematickou křivkou rozložení pravděpodobnosti.



Obrázek 21 - Nahrazení dat rozložením pravděpodobnosti v logaritmickém zobrazení (6)

Z uvedených údajů je možno učinit dílčí závěr, že optimální rozdělení náhodné veličiny u různých strojů odpovídá různým matematickým popisům rozdělení a je nutno je vyhodnocovat individuálně.

8.3. Stanovení minimálního počtu naměřených dat

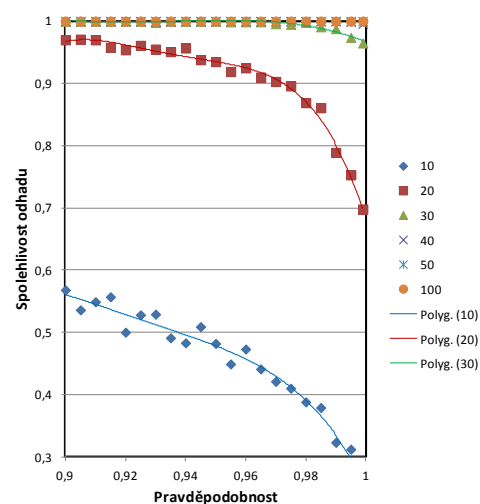
Minimální počet opakovaných měření, potřebných pro spolehlivé určení hledaných veličin, jsem hledala pomocí následujících dvou metod.

První metoda -na základě spolehlivosti odhadu (růstem počtu naměřených dat roste spolehlivost):

V následující tabulce jsou data, která ukazují pro různé pravděpodobnosti jaký je potřebný počet vzorků – zpracovaných ve formě spolehlivosti odhadu. Autorem následujících dat je Mgr. Skalný (6).

Tabulka 1 – Spolehlivost odhadu pro různý počet naměřených dat

Pravděpodobnost	Počet naměřených dat					
	10	20	30	40	50	100
0,9	0,568	0,97	1	1	1	1
0,905	0,536	0,971	1	1	1	1
0,91	0,549	0,97	1	1	1	1
0,915	0,557	0,958	1	1	1	1
0,92	0,5	0,954	1	1	1	1
0,925	0,528	0,961	1	1	1	1
0,93	0,529	0,955	0,998	1	1	1
0,935	0,491	0,951	1	1	1	1
0,94	0,483	0,957	1	1	1	1
0,945	0,509	0,938	1	1	1	1
0,95	0,482	0,935	1	1	1	1
0,955	0,449	0,919	0,999	1	1	1
0,96	0,473	0,925	0,999	1	1	1
0,965	0,441	0,91	0,999	1	1	1
0,97	0,421	0,903	0,996	1	1	1
0,975	0,41	0,896	0,995	1	1	1
0,98	0,388	0,869	0,998	1	1	1
0,985	0,379	0,861	0,991	1	1	1
0,99	0,323	0,789	0,988	1	1	1
0,995	0,312	0,753	0,974	0,999	1	1
0,999	0,256	0,698	0,965	0,996	1	1



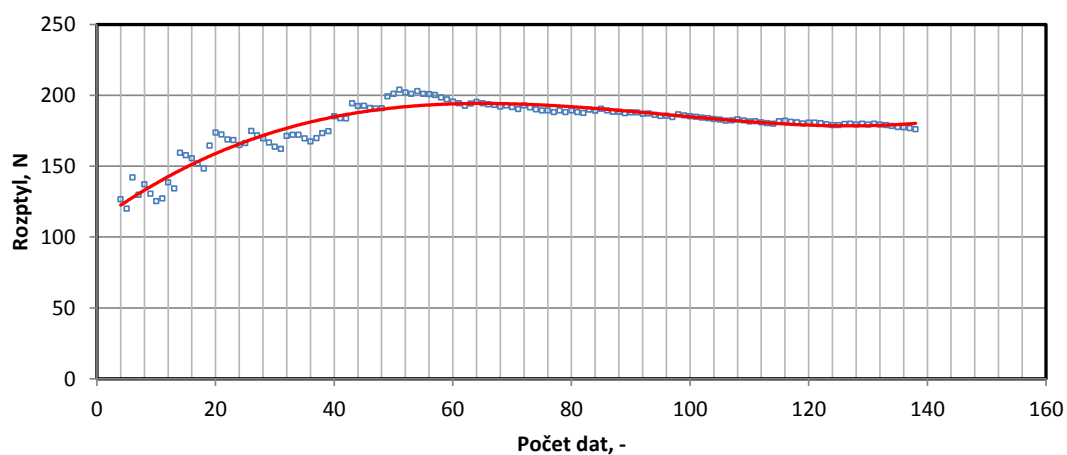
Obrázek 22 – Grafické znázornění tabulky (6)

Výpočet spolehlivosti odhadu maxima nás informuje o tom, kolik opakování měření je nutno provést, aby výsledek byl dostatečně reprezentativní. Jak je vidět z předchozí tabulky, je pro analýzu sil do základů nutno provést minimálně 40 měření pro pravděpodobnost 99,5 % a 50 měření pro pravděpodobnost 99,9 %.

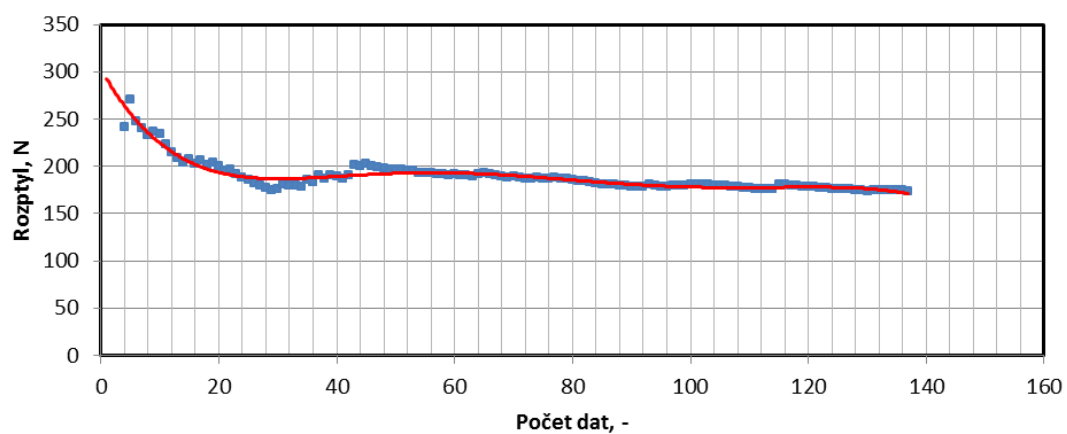
Druhá metoda – trend rozptylu,

Kontrola minimálního počtu měření, potřebného pro dostatečně spolehlivé stanovení předpokládaného maxima, pomocí trendu rozptylu naměřených hodnot.

Tento trend byl počítán tak, že pro každé naměřené maximum byla stanovena hodnota rozptylu pro všechny předchozí naměřené hodnoty této série měření. Z vývoje trendu je možno usuzovat, že se trend začíná stabilizovat přibližně při 70 naměřených vzorcích. Následně se hodnota rozptylu snižuje a ke stabilizaci dochází opět při více než 60 vzorcích.



Obrázek 23 – Trend rozptylů u Gausova rozdělení (6)



Obrázek 24 – Trend rozptylů u Gausova rozdělení (6)

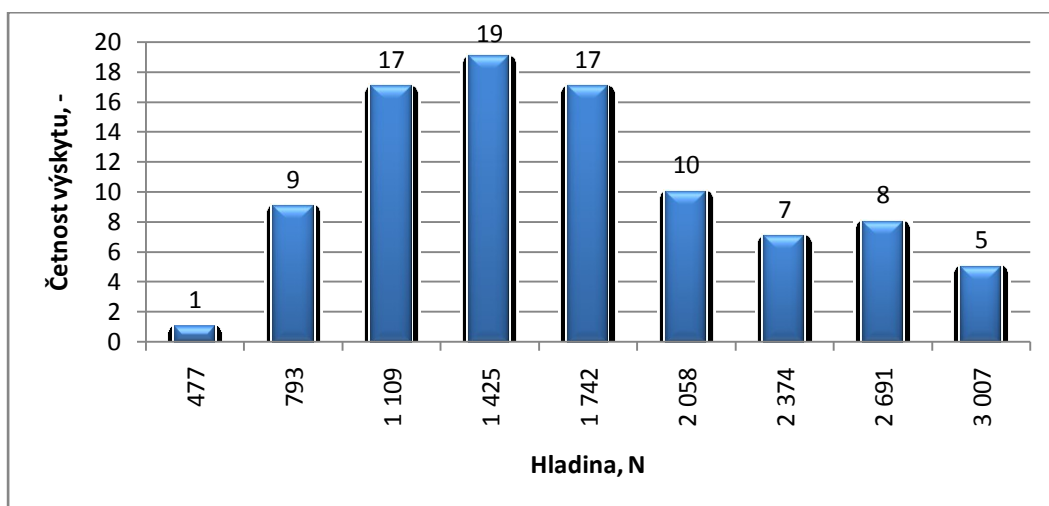
Je možno konstatovat, že pro správnost volby rozložení a pro spolehlivý výpočet pravděpodobnosti výskytu maxima s pravděpodobností 99,9 % je potřebné provést záznam minimálně 60 vzorků maxim. Protože se jedná o rozbor dvou měření a není jisté, zda uvedený trend bude obdobný i u jiných pracích strojů, doporučuji naměřit vždy alespoň 100 vzorků maxim.

8.4. Výpočet maxima a jeho pravděpodobnost

Cílem této části výpočtů je určit jaká je pravděpodobná hodnota maxima a jakou pravděpodobnost zvolit pro charakterizování tohoto maxima.

8.4.1. Prací stroj typ A

U pracího stroje typu A (8 kg prádla) bylo zjištěno jako optimální Gamma rozdělení. Obrázek níže ukazuje četnost výskytu maxim (Obrázek 25).

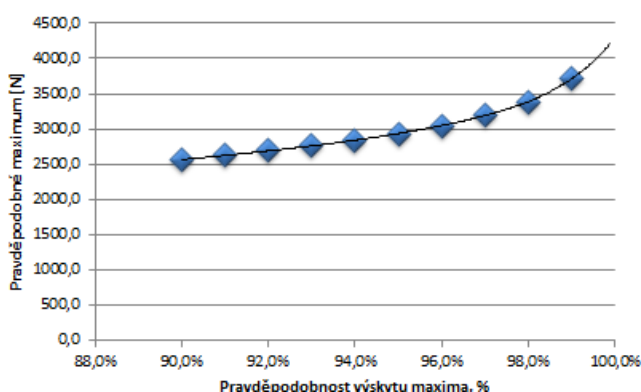


Obrázek 25 – Histogram četnosti výskytu celkových maxim

Výsledné hodnoty výskytu síly podle pravděpodobnosti 90 až 99,9 % uvádí následující tabulka a graf.

Tabulka 2 – Hodnota maxima pro různé pravděpodobnosti

Pravděpodobnost výskytu maxima, %	Pravděpodobné maximum [N]
90,0%	2565,9
91,0%	2623,7
92,0%	2687,6
93,0%	2758,9
94,0%	2840,0
95,0%	2934,3
96,0%	3047,5
97,0%	3190,5
98,0%	3387,1
99,0%	3711,9
99,9%	4230,0

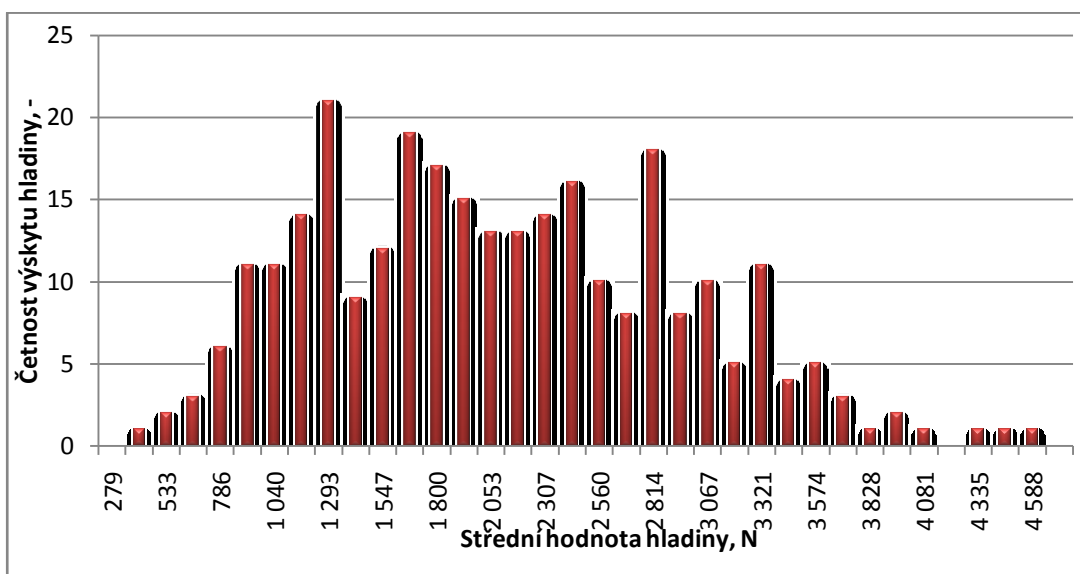


Obrázek 26 – Grafické znázornění tabulky

Pro určení pravděpodobného maxima je vhodné použít pravděpodobnost $P = 99,9\%$ což odpovídá pravděpodobné dynamickou složku síly zatížení podlahy 4 230 N.

8.4.2. Prací stroj typ B

U pracího stroje typu B (10,5 kg prádla) bylo zjištěno jako optimální Weibullovo rozdělení. Obrázek níže ukazuje četnost výskytu maxim (Obrázek 27).

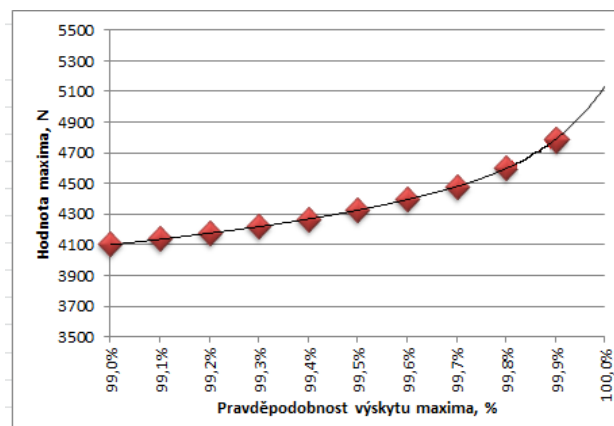


Obrázek 27 - Histogram četností výskytu celkových maxim

Hodnotu maxima pro různou pravděpodobnost uvádí následující tabulka a graf.

Tabulka 3 – Hodnota maxima pro různé pravděpodobnosti

Pravděpodobnost výskytu maxima, %	Pravděpodobné maximum [N]
99,0%	4 099
99,1%	4 135
99,2%	4 174
99,3%	4 217
99,4%	4 267
99,5%	4 324
99,6%	4 393
99,7%	4 479
99,8%	4 595
99,9%	4 785

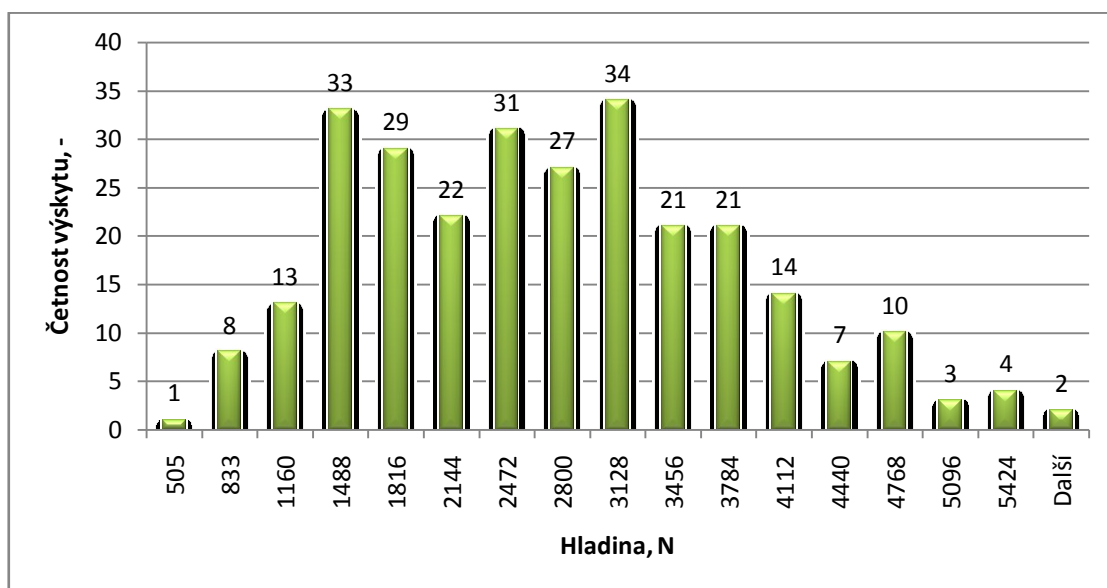


Obrázek 28 – Grafické znázornění tabulky

Vzhledem k charakteru rozdělení je vhodné i v tomto případě použít pravděpodobnost $P = 99,9 \%$ což odpovídá dynamickou složku síly zatížení podlahy 4 785 N.

8.4.3. Prací stroj typ C

U pracího stroje typu C (18 kg prádla) bylo zjištěno jako optimální Logaritmicko-normální rozdělení. Obrázek níže ukazuje četnost výskytu maxim (Obrázek 29).

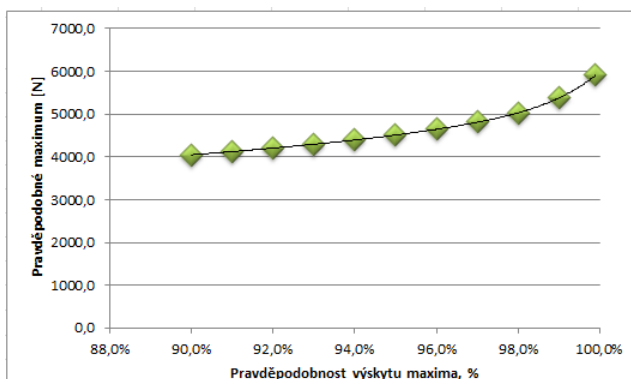


Obrázek 29 - Histogram četností výskytu celkových maxim

Hodnotu maxima pro různou pravděpodobnost uvádí následující tabulka a graf.

Tabulka 4 – Hodnota maxima pro různé pravděpodobnosti

Pravděpodobnost výskytu maxima, %	Pravděpodobné maximum [N]
90,0%	4047,2
91,0%	4121,9
92,0%	4203,2
93,0%	4292,8
94,0%	4392,9
95,0%	4507,2
96,0%	4641,6
97,0%	4807,1
98,0%	5027,1
99,0%	5374,1
99,9%	5906,0



Obrázek 30 – Grafické znázornění tabulky

Vzhledem k charakteru rozdělení je vhodné použít pravděpodobnost $P = 99,9 \%$ což reprezentuje dynamickou složku síly zatížení podlahy 5 906 N.

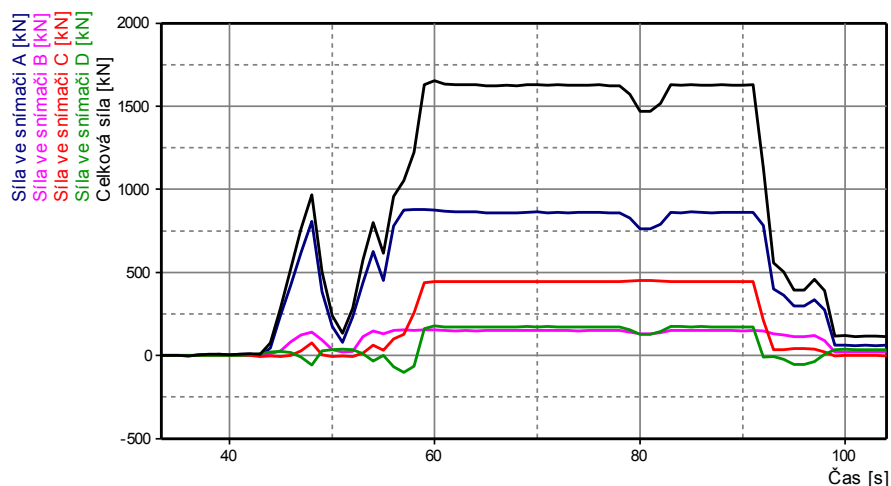
Je možno konstatovat, že pro správnost volby rozložení a pro spolehlivý výpočet pravděpodobnosti výskytu maxima s pravděpodobností 99,9 % je potřebné provést záznam alespoň 100 vzorků maxim.

8.5. Měření statické složky

Statická složka zatížení je potřebná u měření maxima síly působící do podlahy. Skládá se ze síly od čisté hmotnosti pracího stroje, hmotnosti náplně prádla a hmotnosti vody v pracím stroji.

Zatížení od hmotnosti pracího stroje:

Statické zatížení od hmotnosti pracího stroje bylo určeno z rozdílu sil působících ve snímačích síly při nadzvednutí pracího stroje (odlehčení snímačů síly – nulový stav) a při postavení stroje na podlahu (Obrázek 31).



Obrázek 31 – Příklad průběhu sil ve snímačích při měření hmotnosti (6)

Dodatečné zatížení:

K maximálnímu dynamickému zatížení dochází vždy na počátku odstředování, kdy je prádlo plně namočené, ale již je vypuštěna nadbytečná voda, proto jsem učinila pár experimentů. Hmotnost prádla, froté ručníky jsem po vyprání zvažila a činí, podle experimentu, po odstředění cca 1,7násobek (+70 % náplně). U povlečení mikrovláknový polyester to vycházelo 1,3 (+30 % náplně).

Vzhledem k tomu, že z provozních důvodů dochází k nulování snímačů sil na konci pracovního cyklu, tedy při stavu, kdy v bubnu zůstává odstředěné prádlo, je skutečná hodnota statické složky podle bodu c) rovna součtu

- statické síly od hmotnosti pračky,
- síly od hmotnosti prádla při 100 % náplni,
- hmotnosti vody rovné 60 % maximální náplně suchého prádla. Hmotnost vody, která bude odstředěna, je následně zahrnuta v dynamické složce zatížení.

9. Analýza v MKP

Při měření sil do základů se v současnosti využívá snímač síly nosíkového typu firmy Reverse Transducers, který je zobrazen na následujícím obrázku.

Ten je umístěn na každém z rohů pračky v místech, kde jsou kotvící otvory.



Obrázek 32 – Snímač nosíkový Reverse Transducers(14)



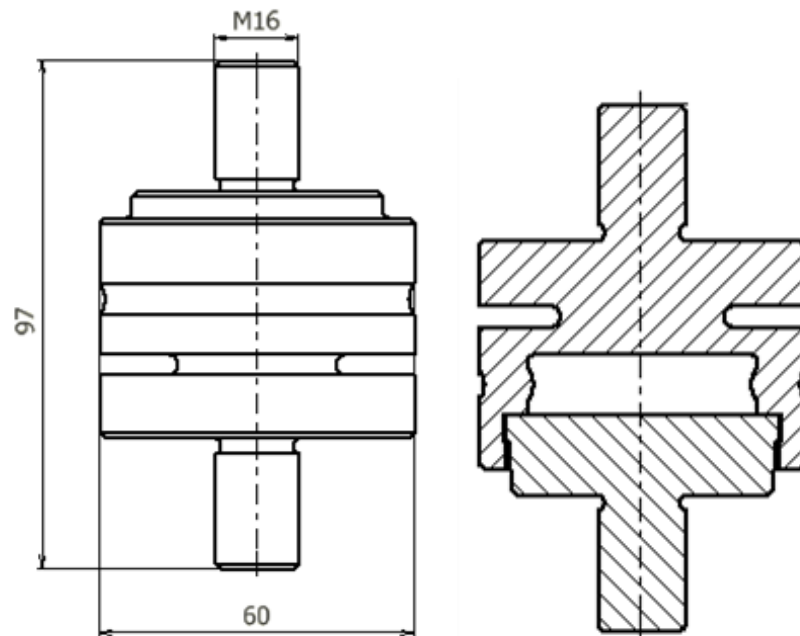
Obrázek 33 – Snímač měření sil do podlahy

Toto provedení není pro některé prací stroje vhodné, neboť část s kotvícími otvory je určena pro dosednutí celou plochou na podlahu a uvedený snímač vyvozuje v místě upevnění klopný moment, který upínací plochy deformuje.

Proto jsem se v rámci své diplomové práce rovněž zabývala návrhem vhodného snímače pro měření sil do podlahy.

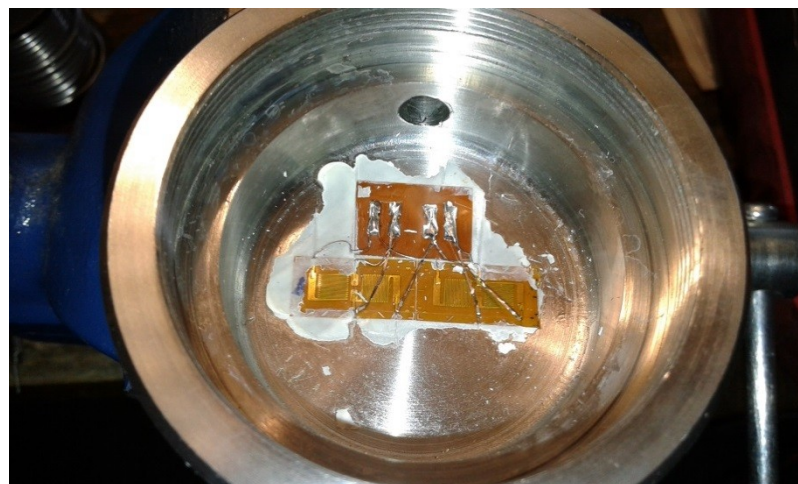
Snímač v provedení 1

Autorem prvního navrženého snímače je doc. Foltá, jehož tvar je na následujícím obrázku.



Obrázek 34 – Výkres snímače a jeho částečný řez (35, 36)

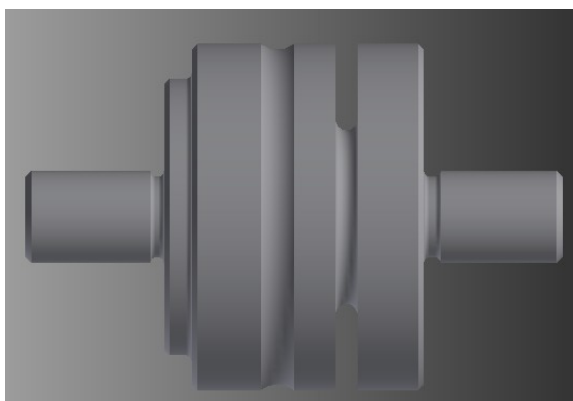
Tělo snímače bylo vyrobeno a bylo osazeno tenzometry a bylo provedeno ověřovací cejchování. Při tomto cejchování bylo zjištěno, že snímač je poměrně dost citlivý na vyosené působení zatěžovací síly, což je u snímače síly závažný problém.



Obrázek 35 – Snímače s tenzometry

Mým úkolem bylo proto teoretické ověření chování poměrného prodloužení v místě tenzometrů při působení osově i boční síly.

Tento model je vytvořen v programu ANSYS Workbench 14, který slouží k numerickému řešení fyzikálních problémů (průběhů napětí a deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla atd.). Program využívá Metoda konečných prvků (MKP) v praxi používaný nejčastěji především pro kontrolu již navržených zařízení, nebo pro stanovení kritického (nejnamáhavějšího) místa konstrukce.

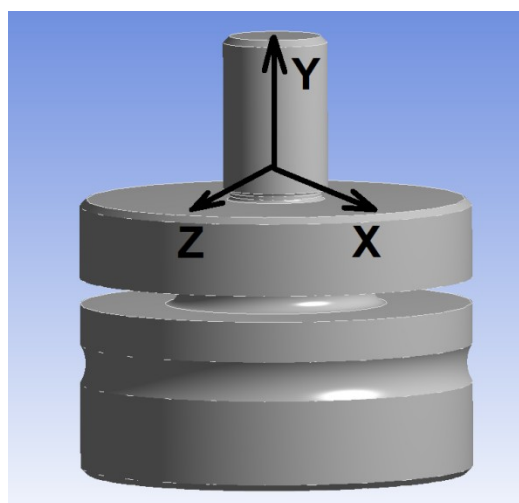
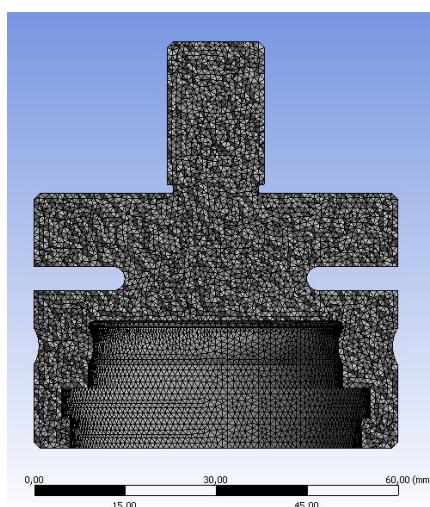


Obrázek 36 – Namodelovaný snímač v programu Autodesk Inventor Professional 2012

Při řešení jsem postupovala v následujících krocích pomocí MKP:

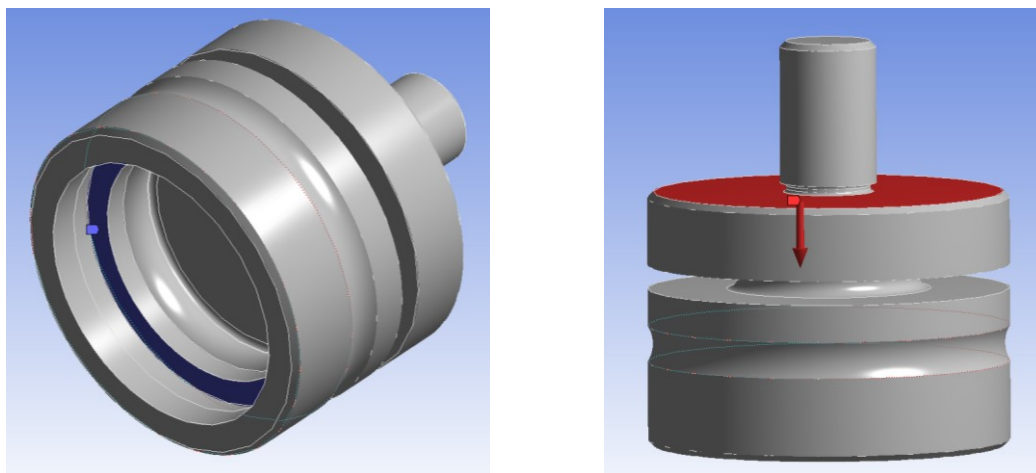
- Pro vytvoření geometrického modelu jsem použila program Autodesk Inventor Professional 2014. Výsledný model jsem pomocí importního formátu parasolid (.x_b) načetla do programu ANSYS Workbench 14.0.

- Vytvoření sítě konečných prvků pomocí automatického generátoru sítě (Mesh). Tato síť byla na základě předběžných výsledků (redukovaných napětí) zhuštěna viz Obr. 24.



Obrázek 37 – Síť vytvořena v programu ANSYS a souřadnicový systém snímače

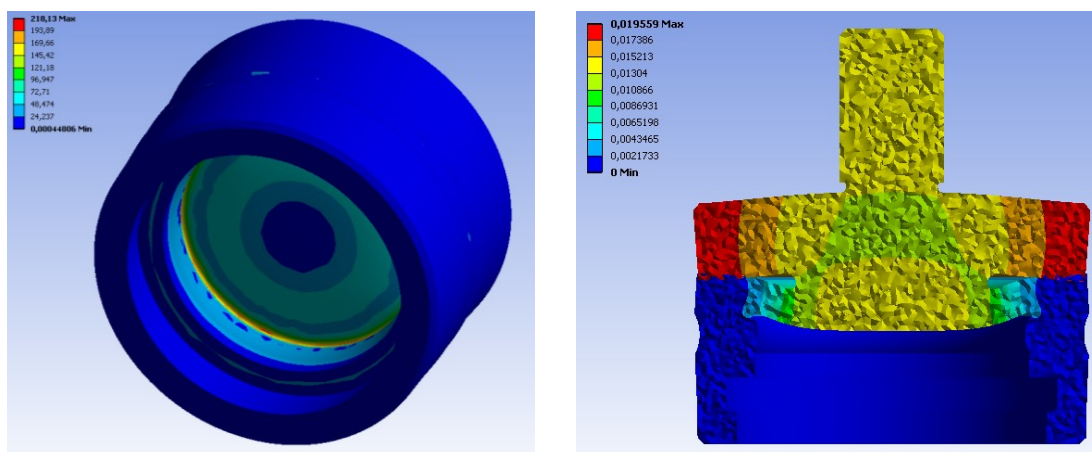
- Zadání silových okrajových podmínek. Zatížení snímače, jsem zadala 20 kN, což je požadovaná síla od firmy Aliance. Tuto sílu jsem umístila na plochu, na kterou působí síly od pračky. Uchycení snímače je v místě, kde dosedá plocha druhé části snímače. Je simulováno obdobně jako ve skutečnosti, zkoumaná plocha je v místech, kde se budou následně lepit tenzometry. Toto je realizováno funkcí Fixed Support pro určenou dosedací plochu.



Obrázek 38 – Opěra a síly do snímače

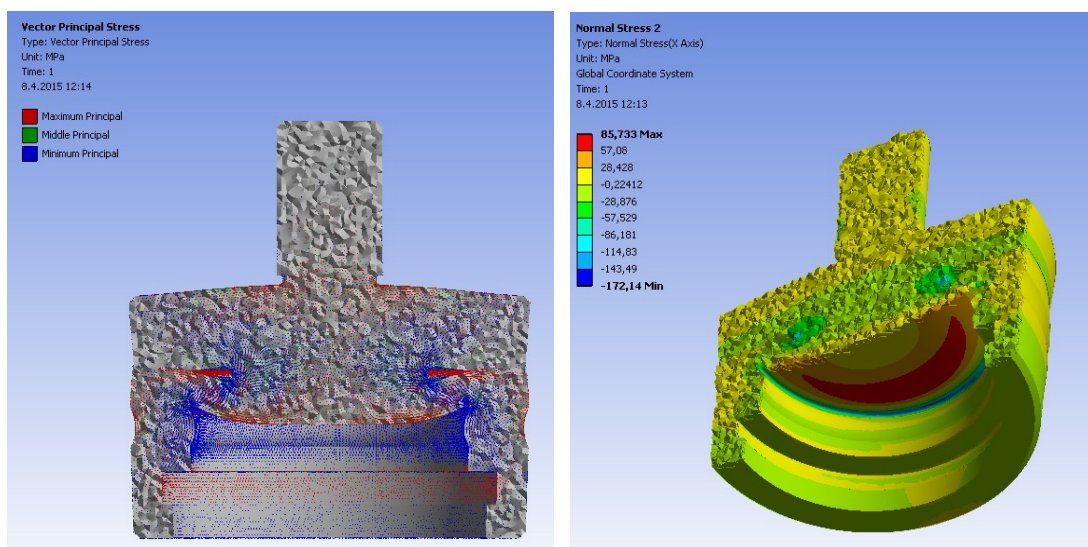
- Při analýze jsem nejprve zkoumala velikost napětí. Dle výsledků jsem zjistila, že největší hodnota napětí je v místě bočních hran a to konkrétně hodnota 219 MPa. Vzhledem k tomu, že použitý materiál 17 240 má $R_{p0,2} = 210$ MPa je tato hodnota nepřijatelná a je pravděpodobné, že v těchto místech bude docházet k plastickým deformacím. Snímač je proto použitelný jen do 15 kN (s napětím 164,25 MPa a s bezpečností 1,27 k mezi kluzu).

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{210}{164,25} = 1,27 \quad (26)$$



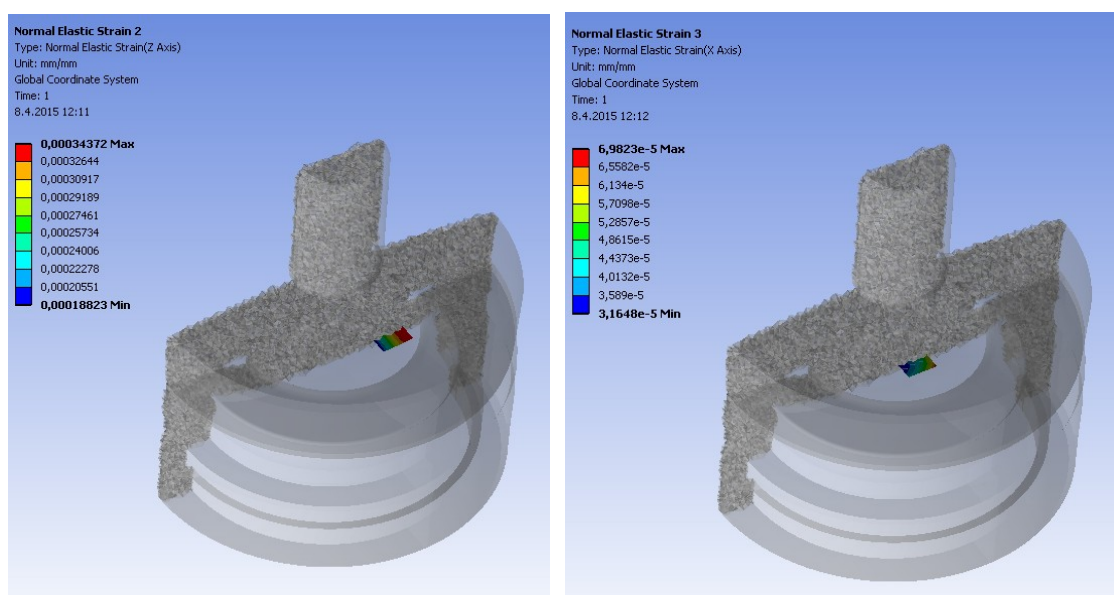
Obrázek 39 – Velikost napětí a deformace snímače

- Úlohu jsme řešila jako statickou, řešení proběhlo bez komplikací, bez chybových hlášení.
- Výsledky řešení jsou zobrazeny ve formě obrázku, jaké se běžně používají u MKP.



Obrázek 40 – Pohled na místo napjatosti (vektory) a napjatost ve směru osy X

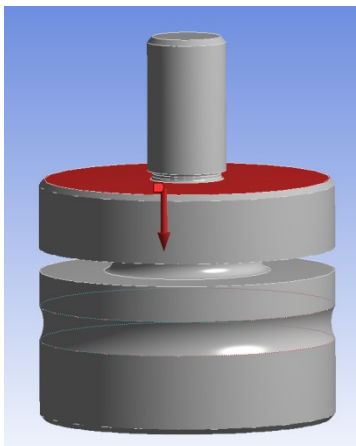
- V dalším kroku jsem se soustředila na problematiku vlivu vyoseného působení síly na signál z tenzometrů. Cílem bylo stanovit, jak se projeví boční síla s různým smyslem působení na poměrné prodloužení v místě tenzometrů.
- Nejprve jsem stanovila poměrné prodloužení v místě tenzometrů pro osové působení síly.
- Následné dvě zobrazení napětí jsou v místech, kde byly umístěny tenzometry.



Obrázek 41 – Napjatosti pro umístění tenzometrů

- Výsledky simulace chování poměrného prodloužení v místě tenzometrů při působení osově i boční síly viz Tabulka 5,

Tabulka 6 a Tabulka 7. Tenzometr průměruje hodnoty po své délce vinutí a tak jsem odečetla na krajích tenzometrů napětí a vzala jsem střední hodnotu, což reprezentuje signál neboli to co tenzometr bude měřit. Tedy hodnoty MAX a MIN jsou odečítané hodnoty na krajích tenzometrů.

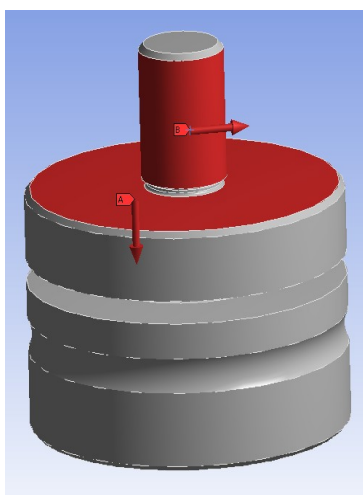


Obrázek 42 – Zatížení síla ve směru osy y 20000N

Tabulka 5 – Hodnoty poměrného prodloužení v místě tenzometru ve směru osi z a x

	osa z MAX	osa z MIN	osa x MAX	osa x MIN
	0,00034372	0,00018823	0,000069823	0,000031648
průměr	0,00026598		0,000050736	

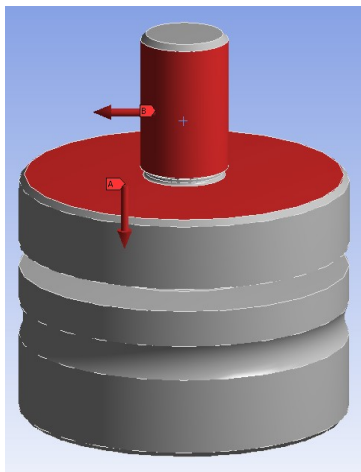
Pro simulaci vyoseného působení zatěžovací síly jsem volila boční sílu velikosti 200 N (tedy hodnota 1 % hlavní síly) působící na upevňovací závitovou část snímače.



Obrázek 43 – Zatížení silou ve směru osy y 20000N a zleva ve směru osy z 200N

Tabulka 6 – Hodnoty poměrného prodlouženív místě tenzometru ve směru osi z a x

	osa z MAX	osa z MIN	osa x MAX	osa x MIN
	0,00034365	0,000194	0,000071701	0,000032993
průměr	0,00026888		0,000052347	



Obrázek 44 – Zatížení silou ve směru osy y 20000N a zprava ve směru osy z 200N

Tabulka 7 – Hodnoty poměrného prodlouženív místě tenzometru ve směru osi z a x

	osa z MAX	osa z MIN	osa x MAX	osa x MIN
	0,00031765	0,00018035	0,000068096	0,000032095
průměr	0,000249		0,000050096	

Pro kontrolu jsem uvažovala pouze hodnoty ve směru osy z, protože jsou v tomto směru větší a jsou tedy významnější z hlediska přesnosti měření.

Změna poměrného prodloužení ve směru + Z

$$0,00026598 - 0,00026888 = -0,0000029 = -29 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{-29 \cdot 10^{-7}}{0,00026598} \cdot 100 = -1,09\%$$

Změna poměrného prodloužení ve směru - Z

$$0,00026598 - 0,000249 = 0,00001698 = 169,8 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{169,8 \cdot 10^{-7}}{0,00026598} \cdot 100 = 6,4\%$$

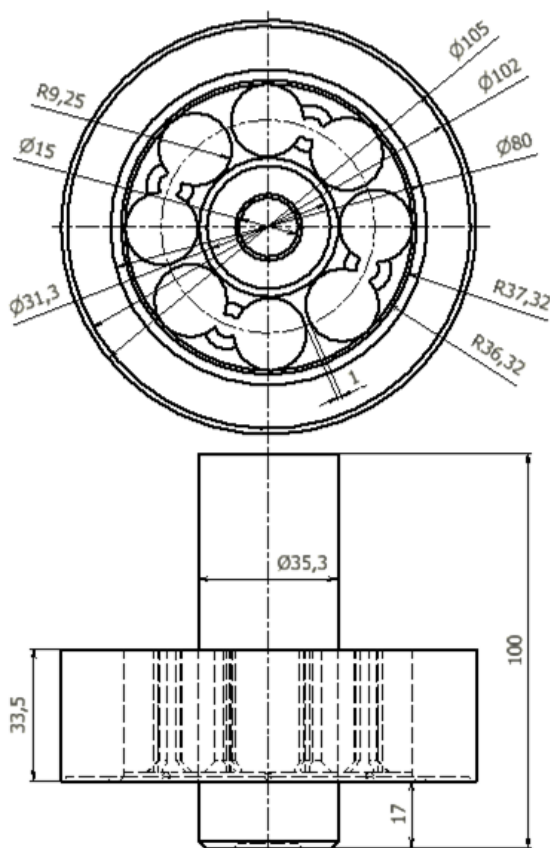
Dílčí závěr:

Při zatížení ve směru zleva osy z se poměrné prodloužení v místě tenzometru snížil o 1,09% při zatížení v druhém směru se zvýšil o 6,4%. Rozdíl je výrazný a potvrzuje hodnoty naměřené při experimentu, při cejchování a jenom dokazuje, že snímač takto navržený není vhodný pro měření. Proto jsme se s vedoucím práce rozhodli navrhnout jiný typ snímače.

Snímač v provedení 2

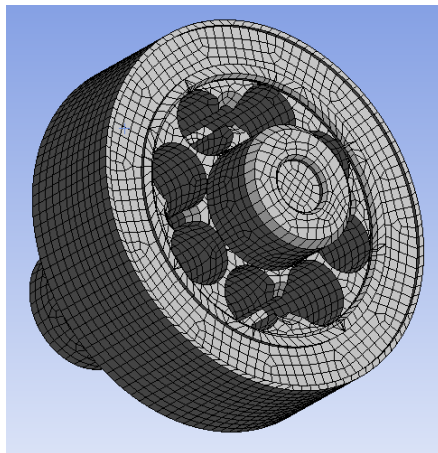
Pro řešení jsem se rozhodla pořídit typ snímáče firmy Interface, který je profesionálně vyroben, a tudíž se ho pokusím ověřit.

- Pro vytvoření geometrického modelu jsem použila program Autodesk Inventor Professional 2014. Výsledný model jsem pomocí importního formátu parasolid (.x_b) načetla do programu ANSYS Workbench 14.0. Tloušťka měřicího „můstku“ je 1 mm.



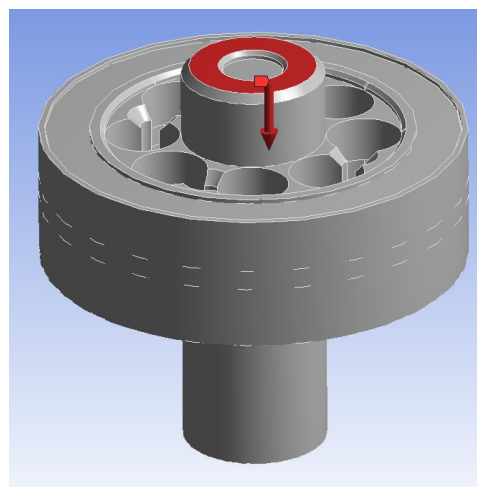
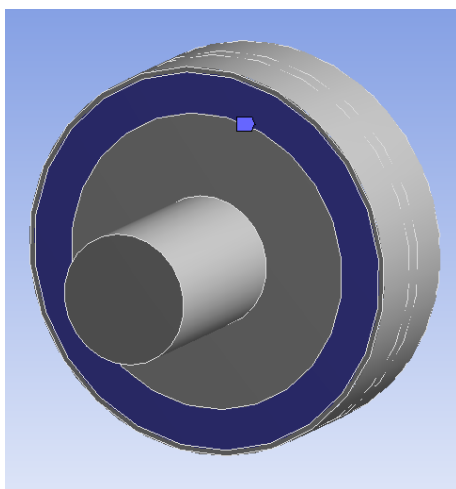
Obrázek 45 - Snímač 2. Typu (37)

- Vytvoření sítě konečných prvků pomocí automatického generátoru sítě.



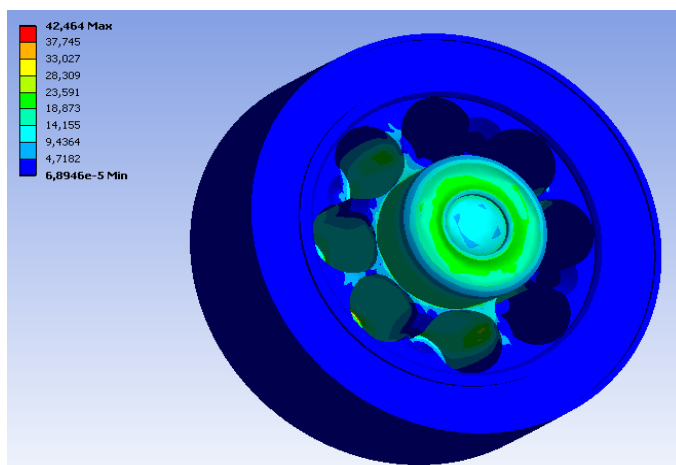
Obrázek 46 - Sít' vytvořena v programu ANSYS

- Zadání silových okrajových podmínek. Zatížila jsem to hodnotou 1500 N, protože je tento snímač pro tuto sílu určen. Tato síla byla umístěna na plochu, na kterou působí síly od pračky. Uchycení snímače je v místě, kde dosedá plocha do základové desky. Toto je realizováno funkcí Fixed Support pro určenou dosedací plochu.



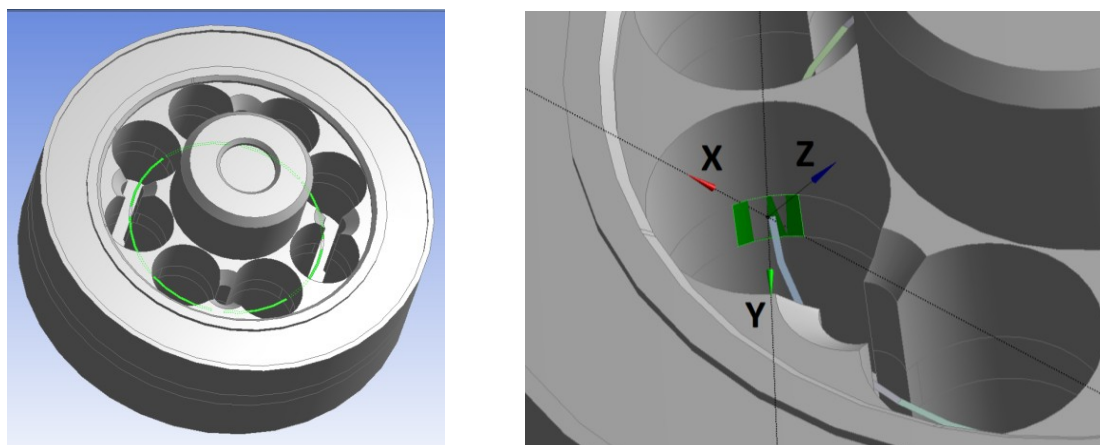
Obrázek 47 – Opěra a síla do snímače

- Při analýze jsem zkoumala velikost napětí. Dle výsledků jsem zjistila, že největší hodnota redukovaného napětí je 43 MPa. Vzhledem k použití oceli 17 240 má $R_{p0,2} = 210$ MPa je tato hodnota přijatelná a je pravděpodobné, že v těchto místech nebude docházet k plastickým deformacím. Snímač je vyhovující s dostatečnou přetížitelností a s bezpečností 4,88 k mezi kluzu.



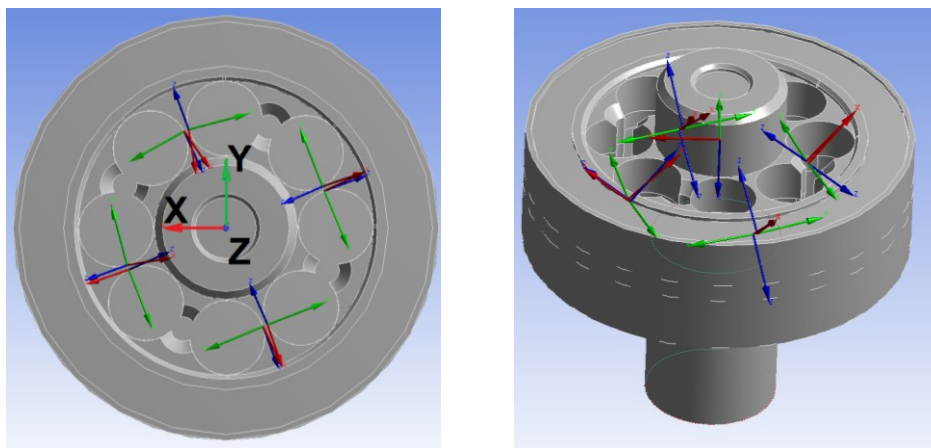
Obrázek 48 – Velikost napětí a deformace snímače

- Při analýze jsem zkoumala velikost napětí, které působí v místě tenzometrů a zejména mě zajímalo, jak se bude chovat poměrné prodloužení v místě snímačů při bočním zatížení v různém smyslu. V geometrii snímače, jsem proto musela najít vhodné místa pro určení co nejpřesnějších hodnot.



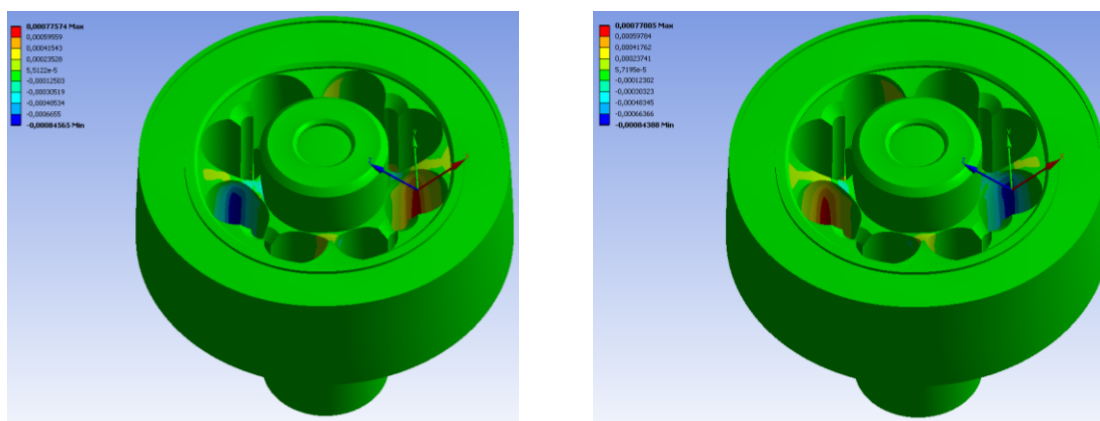
Obrázek 49 – Místa kde se nachází tenzometry

- Tento snímač, má tenzometry umístěny v polovině výšky snímače, na čtyřech místech bude umístěn snímač s vinutím 45° a protože jsem potřebovala zjistit poměrné prodloužení pod úhlem 45° musela jsem v tomto místě pootočit souřadnicový systém.



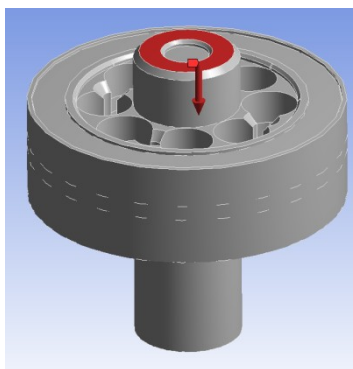
Obrázek 50 – Souřadnicový systém místě tenzometrů

- Následující obrázky ilustrují umístění souřadného systému do jednoho ze čtyř míst, kde bude umístěn tenzometr.



Obrázek 51 – Napjatosti pro umístění tenzometrů

- Výsledky simulace chování poměrného prodloužení v místě tenzometrů při působení osově i boční síly viz Tabulka 8, kde MAX a MIN je odečítaná hodnota na krajích tenzometrů.

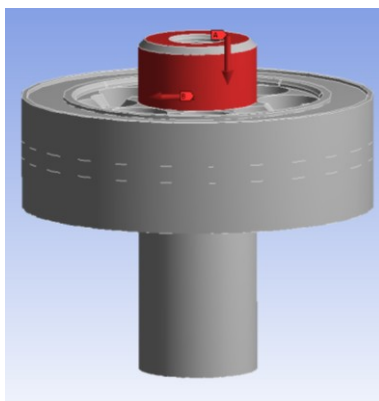


Obrázek 52 – Zatížení silou ve směru osy y 1500N

Tabulka 8 – Hodnoty poměrného prodlouženív místě tenzometru ve směru osi x a z

	osa x MAX	osa x MIN	osa z MAX	osa z MN
	0,00077574	-0,00084565	0,00077805	-0,00084388
průměr	0,0008107		0,000811	

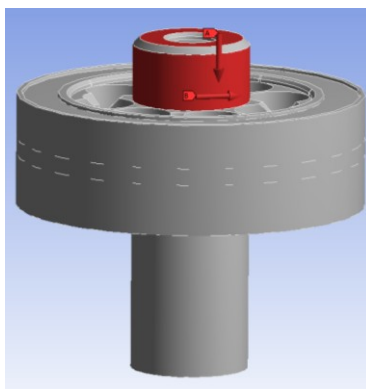
Pro simulaci vyoseného namáhání jsem použila hodnotu bočního zatížení 500 N, tedy na hodnotě 33,3 % osově síly (tedy výrazně vyšší, než u předchozího snímače).



Obrázek 53 – Zatížení silou ve směru osy y 1500N a zprava ve směru osy z 500N

Tabulka 9 – Hodnoty poměrného prodlouženív místě tenzometru ve směru osi x a z

	osa z MAX	osa z MIN	osa x MAX	osa x MIN
	0,00078679	-0,00083302	0,00076712	-0,00087128
průměr	0,00080991		0,000819	



Obrázek 54 – Zatížení silou ve směru osy y 1500N a zleva ve směru osy z 500N

Tabulka 10 – Hodnoty poměrného prodlouženív místě tenzometru ve směru osi x a z

	osa z MAX	osa z MIN	osa x MAX	osa x MIN
	0,00076597	-0,00086389	0,00078898	-0,00082492
průměr	0,00081493		0,000807	

Pro kontrolu jsem uvažovala z hodnot osy z, z toho důvodu, že je o něco větší než hodnoty z osy x.

Změna poměrného prodloužení ve směru + Z

$$0,0008107 - 0,00080991 = 0,00000079 = 7,9 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{7,9 \cdot 10^{-7}}{0,0008107} \cdot 100 = 0,097\%$$

Změna poměrného prodloužení ve směru - Z

$$0,0008107 - 0,00081493 = -0,00000423 = -42,3 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{-42,3 \cdot 10^{-7}}{0,0008107} \cdot 100 = 0,5\%$$

Dílčí závěr:

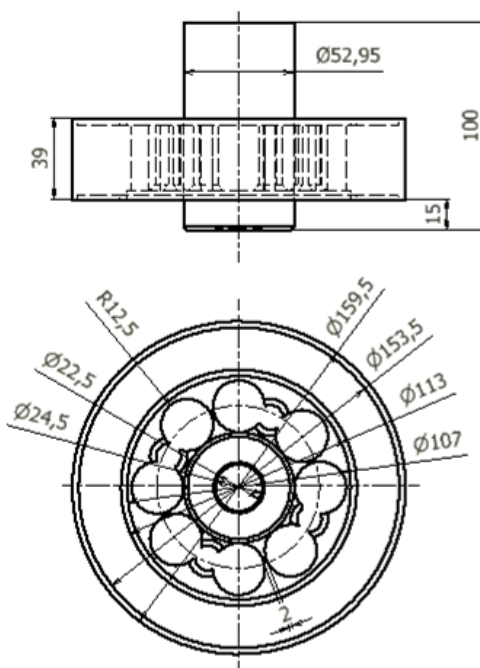
Simulaci jsem zjistila, že měřený snímač je v pořádku, chyba vzniklá z vyoseného namáhání snímače je malá, výrazně nižší, než u předchozího snímače a tedy typ tohoto snímače je použitelný. Na základě těchto informací jsem se rozhodla navrhnout snímač pro 20 kN.

Snímač v provedení 3

Provedla jsem zvýšení jednotlivých rozměrů o 50%, kde výsledná tloušťka měřicího „můstku“ je 2 mm.

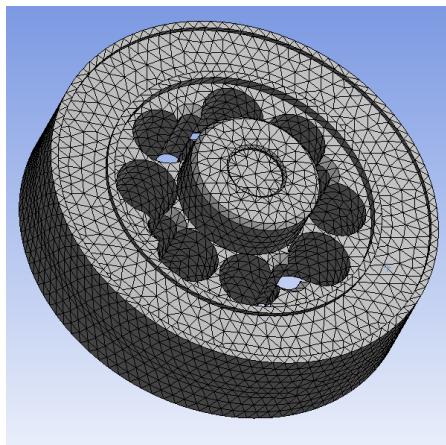
Při řešení jsem postupovala v následujících krocích:

- Pro vytvoření geometrického modelu jsem použila program Autodesk Inventor Professional 2014. Výsledný model jsem pomocí importního formátu parasolid (.x_b) načetla do programu ANSYS Workbench 14.0.



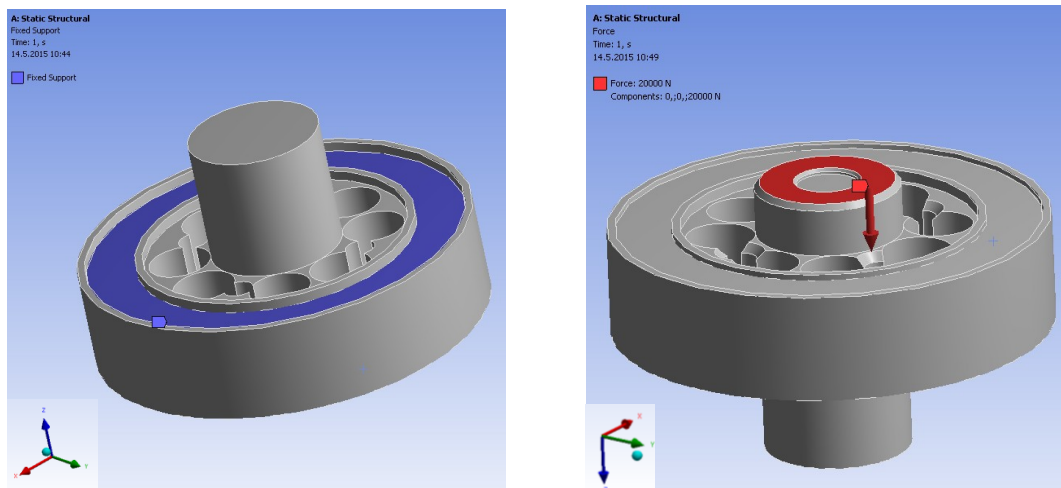
Obrázek 55 – Snímač 2. Typu pro zatížení silou 20 000N

- Vytvoření sítě konečných prvků pomocí automatického generátoru sítě.



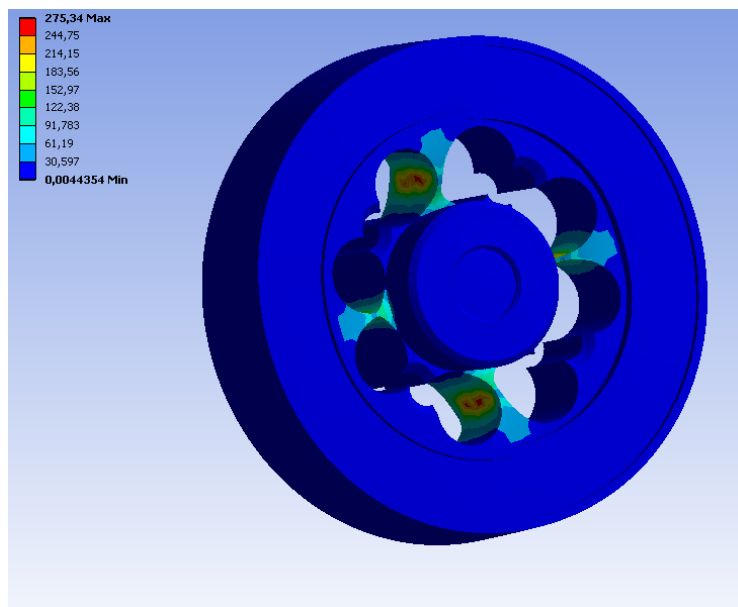
Obrázek 56 – Síť vytvořena v programu ANSYS

- Zatížila jsem to hodnotou 20000 N, tedy sílu, kterou musí snímače unést. Tato síla byla umístěna na plochu, na kterou působí síly od pračky. Uchycení snímače je v místě, kde dosedá plocha do základové desky. Toto je realizováno funkcí Fixed Support pro určenou dosedací plochu.

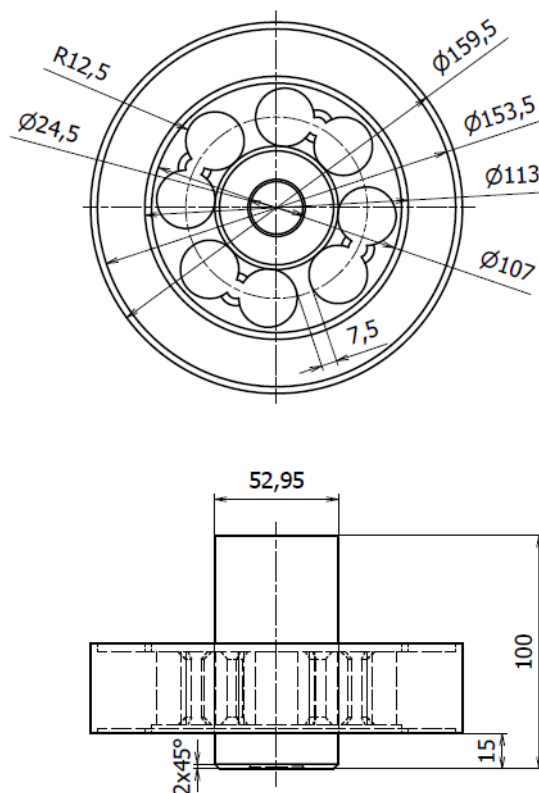


Obrázek 57 – Opěra a síla do snímače

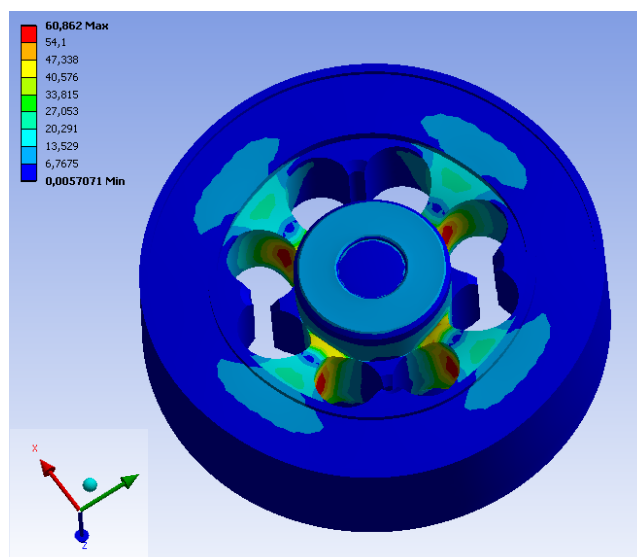
- Při analýze jsem zkoumala velikost napětí. Dle výsledků jsem zjistila, že největší hodnota napětí je konkrétně hodnota 275 MPa (Obrázek 558). Tato hodnota je nepřijatelná a proto jsem provedla rozměrové úpravy, kde výsledná tloušťka měřicího „můstku“ je 7,5mm (Obrázek 559) a výsledná redukované napětí je 61 MPa (Obrázek 5560).



Obrázek 58 – Velikost napětí a deformace snímače



Obrázek 59 – Upravený snímač 2. Typu (38)



Obrázek 60 – Velikost napětí a deformace snímače

Závěrečné posouzení bezpečnosti snímače:

Při analýze jsem zkoumala velikost napětí. Dle výsledků jsem zjistila, že největší hodnota redukovaného napětí je 61 MPa. Tato hodnota je přijatelná a snímač je vyhovující s bezpečností 3,44 k mezi kluzu.

10. Závěr

Cílem práce bylo zjistit kolik opakovaných měření veličiny je potřebné pro určení maxima s dostatečnou pravděpodobností při provozu pracích strojů, u nichž dochází k zatěžování jak jednotlivých nosných částí, tak podlahy, na které působí jak statické tak dynamické síly a jaký typ rozložení pravděpodobnosti je vhodný použít, tak aby splňoval co největší věrohodnost.

Provedla jsem rešerši problematiky sil do podlahy na základě již provedených experimentů a vyhodnocení údajů na základě pravděpodobnostní teorie, do které patří seznámení základních pojmů teorie pravděpodobnosti a jejich příklady.

Pro zvolení vhodné metodiky měření jsem potřebovala znát 3 faktory. První z nich byl, o jaké rozdělení se jedná. Na to jsem používala program Statgraphics, který mi pomocí pravděpodobnosti ukázal, které z rozdělení je vhodné (viz kapitole 4). Dalším faktorem bylo potřeba získat pokud možno nejlepší odhad hledaných parametrů náhodné veličiny, které popisuje rozdělení pravděpodobnosti. V tomto případě Metoda maximální věrohodnosti. A třetím faktorem bylo otestovat rozdělení pomocí Chí-kvadrát testu dobré shody, díky němuž jsme zjistili, zda-li data náleží danému rozdělení. Po těchto třech krocích, jsem mohla určovat u dat jejich charakter. Pro ukázkou výpočtů, jsem si zvolila 3 záznamy pracích cyklů u různých typů praček. Pračku na 135 kg, 169 kg a 190 kg hmotnosti pracího stroje se 100% náplní prádla. U prvního stroje typu A s hmotností 135kg a pravděpodobností 99,9% vyšlo Gamma rozdělení u druhého typu B s hmotností 169 kg vyšlo Weibullovo rozdělení a u třetího s hmotností 190 kg vyšlo Logaritmicko-normální rozdělení. Je možno konstatovat, že pro správnost volby rozložení a pro spolehlivý výpočet pravděpodobnosti výskytu maxima s pravděpodobností 99,9 % je potřebné provést záznam alespoň 100 vzorků maxim.

Dalším z cílů bylo navrhnout vhodné snímače pro snímání sil do podlahy. Provedla jsem vymodelování a kontrolu snímačů pomocí MKP, ANSYS Workbench a pomocí Autodesk Inventor Professional. Vzhledem k problematice snímačů uvedené v kapitole 9 jsem provedla řešení snímače v provedení 1, který nevyhověl proto jsem si vzala jako příklad snímač od firmy Interface, který z hlediska boční síly vyhověl a proto jsem jeho rozměry upravila tak aby vyhověl požadovanému zatížení 20kN. Výsledná bezpečnost snímače je 3,44 a citlivost na boční sílu je velmi malá, proto vyhovuje pro tento typ měření.

11. Seznam použité literatury

Použité publikace:

1. LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky – první vydání*. Alba Úvaly, 2003. ISBN 80-86490-74-2.
2. NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismu strojů 2. vydání*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
3. MIROLJUBOV, I. N., a kolektiv.: *Řešení úloh z pružnosti a pevnosti*. SNTL – NAK.TECH.LIT. Praha 1.
4. MAGNELLO, E., VAN LOON, B.: *Statistika – první vydání*. Portál, s. r. o., Praha10, 2010, ISBN 978-80-7367-753-4.
5. JOHNSONn, N.L., Kotz, S., Kemp A. *Univariate Discrete Distributions – druhé vydání*. Wiley, 1993, ISBN 0-471-54897-9 (p 36).
6. FOLTA, Z.: *Statistické hodnocení měření hodnot sil do podlahy pracích strojů Ostrava-VŠB-YU Ostrava 2013. Technická zpráva. F01 - 347/2013*.

Použité internetové odkazy:

7. Internetová encyklopedie. *WikipediE: otevřená encyklopedie* [online]. 2011 [vid. 13. Květen 2015, 8:00]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Směrodatná_odchylka
8. Internetová encyklopedie. *WikipediE: otevřená encyklopedie* [online]. 2011 [vid. 16. Duben 2015,15:00]. Dostupné z: <http://www.george11.eu/matematika/pst/J1.htm>
9. Internetová encyklopedie. *WikipediE: otevřená encyklopedie* [online]. 2011 [vid. 16. Duben 2015,15:00]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Logaritmicko-normální_rozdělení
10. OTIPKA, Petr. *HomeI VŠB: průvodce studiem* [online]. 2011 [vid. 16. duben 2015,18:00]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP05/PRAV5.HTM>
11. SIMULACE. *Simulace: vyhodnocení dat* [online]. 2013 [vid. 15. června 2015, 10:10]. Dostupné z: http://www.simulace.info/index.php/Usage-based_Insurance/cs
12. Internetová encyklopedie. *WikipediE: otevřená encyklopedie* [online]. 2011 [vid. 16. Duben 2015,15:00]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Gumbel_distribution

13. HUDECOVA. *Karlin: Teorie pravděpodobnosti* [online]. 2013 [vid. 16. Duben 2015, 15:00]. Dostupné z: http://www.karlin.mff.cuni.cz/~hudecova/education/download/c hem_predn/nahodny_vyber_tisk.pdf
14. INTERTECHNOLOGY. *Snímače: obchod se snímači a jeho potřebami* [online]. 2010 [vid. 8. Duben 2015, 13:36]. Dostupné z: http://www.intertechnology.com/Re vere_Transducers/Revere_Model_ACB.html
15. BRIS, Radim. *Homel VŠB: Statistika* [online]. 2011 [vid. 16. Duben 2015, 15:00]. Dostupné z: <http://homel.vsb. cz/~bri10/>
16. OTIPKA, Petr. *Homel VŠB: Pravděpodobnost a statistika* [online]. 2012 [vid. 6. duben 2015, 10:00]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>
17. LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Homel VŠB: průvodce studiem Statistiky* [online]. 2013 [vid. 19. duben 2015, 10:00]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~lit40/STA1/stat istika.html?butt1=Statistika+I>
18. NEUBAUER, Jiří. *Unob: průvodce studiem výběrové charakteristiky* [online]. 2013 [vid. 19. duben 2015, 10:00]. Dostupné z: http://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/vyber ove_charakteristiky.pdf
19. LITSCHMANNOVÁ, Martina. *mi21: Vybrané kapitoly z pravděpodobnosti* [online]. 2013 [vid. 19. duben 2015, 10:00]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/ files/unit/vybrane_kapitoly_pravdepodobnost.pdf
20. LITSCHMANNOVÁ, Martina. *mi21: Statistické analýzy* [online]. 2013 [vid. 9. duben 2015, 10:00]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do _statistiky.pdf
21. Internetová učebnice statistiky. *Eistat: základy kombinatoriky* [online]. 2011 [vid. 16. Duben 2015, 15:00]. Dostupné z: <http://www.eistat.cz/usuzovani/bodove/konstr ukce/mle/index.htm>
22. KOHOUT. *Info soubory: Teorie odhadu* [online]. 2013 [vid. 19. duben 2015, 10:00]. Dostupné z: http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnisem/zs/stat1 0.pdf
23. MUNI. *Info soubory: Parametrické odhady* [online]. 2015 [vid. 19. duben 2015, 11:00]. Dostupné z: http://is.muni.cz/www/98951/41610771/43823411/43823458/4415 9634/44707086/Pavlik_-_Applikovana_analyza_preziti_-_kapitola_4.pdf
24. EUROMISE. *Euromise: Rozdělení pravděpodobnosti a náhodné veličiny* [online]. 2015 [vid. 17. duben 2015, 18:00]. Dostupné z: <http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/node6.html>
25. UNIT.mi21: *Řešené příklady z pravděpodobnosti* [online]. 2015 [vid. 20. duben 2015, 11:00]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/resene_prikla dy_pravdepodobnost.pdf

26. LITSCHMANNOVÁ, Martina. *mi21: Testování neparametrických hypotéz*[online]. 2013 [vid. 25. duben 2015,20:00]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~lit40/STA1/Cviceni/PDF/12cNeparam_Hypotezy.PDF
27. LITSCHMANNOVÁ, Martina. *mi21: Další rozdělení spojitě náhodné veličiny*[online]. 2013 [vid. 25. duben 2015,21:00]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~lit40/STA1/Cviceni/PDF/9cDalsi_SNV.PDF
28. LITSCHMANNOVÁ, Martina. *mi21: Další rozdělení spojitě náhodné veličiny*[online]. 2013 [vid. 19. duben 2015,10:00]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~lit40/STA1/Cviceni/PDF/7cSNV.PDF>
29. BRIS, Radim. *Homel VŠB: Teorie odhadu*[online]. 2011 [vid. 1. květen 2015,15:00]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~bri10/Teaching/Statistika%20II/skriptum/5_Teorie_odhadu.PDF
30. OTIPKA, Petr. *Homel VŠB: Základní typy rozdělení pravděpodobnosti a její spojitě náhodné veličiny* [online]. 2012 [vid. 6. Duben 2015,10:00]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP05/PRAV5.HTM>
31. KAHOUNOVÁ, Jana. *Acta Oeconomica Pragensia: Asymptotické pravděpodobnostní rozdělení výběrového maxima* [online]. 2008 [vid. 6. Duben 2015,10:00]. Dostupné z: <http://vse.cz/polek/download.php?jnl=aop&pdf=103.pdf>

Použité programy:

32. Autodesk® Inventor® 2014. Autodesk Inventor 2014 Professional [software].[vid. 18. květen 2015,10:00]. Dostupné z: <http://autodesk.com>
33. ANSYS, INC. ANSYS Workbench Platform 14.0 [software].[vid. 18. květen 2015, 12:12]. Dostupné z: <http://ansys.com>
34. Statgraphics®centurion XVII [software].[vid. 18. květen 2015,10:00]. Dostupné z: <http://info.statgraphics.com/statgraphics-home>

Seznam příloh:

35. dílenský výkres č. v. HAJ_0051_FS_01, název Horní část snímače 1
36. dílenský výkres č. v. HAJ_0051_FS_02, název Dolní část snímače 1
37. výkres sestavení č. v. HAJ_0051_FS_03, název Sestava snímače 2
38. výkres sestavení č. v. HAJ_0051_FS_04, název Sestava snímače 3